N° 470 • 6,20€ DÉCEMBRE 2012

La Recherche

L'actualité des sciences

OGM
VÉRITÉS & MENSONGES

› *Retour sur la polémique*
› *Ce qu'il faut savoir*

ANTHROPOLOGIE
La fable de la fin du monde en 2012

Dario Autiero et la vitesse du neutrino

M 01108 - 470 - F: 6,20 €

LA Recherche

Sophia Publications
74, avenue du Maine 75014 Paris
Tél. : 01 44 10 10 10
Fax : 01 44 10 54 30
e-mail rédaction : courrier@larecherche.fr

Pour joindre directement par téléphone un membre de la rédaction, composez le 01 44 10, suivi des quatre chiffres placés après son nom. Par mail, libellez l'adresse sur le modèle : prenom.nom@larecherche.fr (sans accents).

La Recherche est publiée par **Sophia Publications,** filiale d'Artémis.
Président-directeur général et directeur de la publication **Philippe Clerget**
Conseiller de la direction **Jean-Michel Ghidaglia**

ABONNEMENTS
Tarif France :
1 an 12 n°, 65 €
1 an 12 n° + 6 Dossiers La Recherche, 96 €
Tarif international : nous contacter.
Tél. : 01 55 56 71 15
00 (33) 1 55 56 71 15
E-mail : abo.recherche@groupe-gli.com
Adresse : Service abonnements La Recherche, 17 route des Boulangers 78926 Yvelines cedex 9
Suisse : Edigroup Tél. : (0041) 22 860 84 01.
Belgique : Edigroup Tél. : (0032) 70 233 304
Achat de revues et d'écrins
La Recherche – BP65 – 24, chemin latéral 45390 Puiseaux – 02 38 33 42 89

Directrice de la rédaction **Aline Richard**
Assistante **Gabrielle Monrose (54 38)**

Rédacteur en chef **Luc Allemand**
Rédactrices en chef adjointes **Sophie Coisne (54 20)**
Hélène Le Meur (54 21)
Secrétaire générale de la rédaction **Christine Pineau (54 16)**
Chef de service **Marie-Laure Théodule (54 22)**
Chef de rubrique **Cécile Klingler (54 18)**
Rédacteurs **Vincent Glavieux (54 29)**
Fiorenza Gracci (54 24)
Lise Loumé (54 25)

Conception graphique et direction artistique **Vincent Sainte Fare Garnot (54 13)**
1re rédactrice graphiste **Michèle Bourgeois (54 15)**
Service photo **Anne Viratelle (54 14)**
Secrétaire de rédaction **Morvan Léon (54 17)**
Responsable fabrication **Christophe Perrusson (13 78)**
Activités numériques **Emmanuelle Gérardin (54 52)**

Ont collaboré à ce numéro **Clément Delorme, Nicolas Mignerey, Marylène de Ruyter**

Directrice déléguée gestion et numérique **Dounia Ammor**
Responsable communication **Élodie Dantard (54 55)**
Directrice des ventes et promotion **Evelyne Miont (13 80)**
Vente messageries VIP-diffusion **Frédéric Vinot numéro vert 0800 51 49 74**
Directrice commerciale et marketing **Virginie Marliac (54 49)**
Responsable du marketing direct **Linda Pain (54 51)**
Responsable gestion abonnements **Isabelle Parez (13 60)**
Responsable comptabilité **Sylvie Poirier (12 89)**
Diffusion librairies **DIF'POP'. Tél. : 01 40 24 21 31 Fax : 01 40 24**

Imprimerie **G. Canale & C.,** Via Liguria 24, 10071 Borgaro (TO), Italie.
Dépôt légal à parution.

OJD PRESSE PAYANTE Diffusion Certifiée 2011

Les titres, les intertitres, les textes de présentation et les légendes sont établis par la rédaction du mensuel. La loi du 11 mars 1957 interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite (article L 122-4 du Code de propriété intellectuelle). Toute copie doit avoir l'accord du Centre français du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. : 01 44 07 47 70. Fax : 01 46 34 67 19). L'éditeur s'autorise à refuser toute insertion qui semblerait contraire aux intérêts moraux ou matériels de la publication.

Commission paritaire : 0914 K 85863. ISSN 0029-5671

éditorial

Investissements

PAR **Aline Richard**
directrice de la rédaction

Deux puissances aux bannières étoilées viennent de choisir leurs dirigeants. La démocratie américaine a reconduit Barack Obama. L'autocratie chinoise a intronisé Xi Jinping. Deux États qui comptent sur la science et les technologies pour assurer leur prééminence mondiale. Aux États-Unis, la première Administration Obama avait investi 100 milliards de dollars dans l'énergie, les technologies de l'information et la recherche fondamentale. Crise ou pas, l'effort ne devrait pas ralentir pour la seconde mandature, à la grande satisfaction des chercheurs. Même si tout n'est pas lit de roses notamment sur le dossier du climat, l'objectif américain reste celui de 3 % du PIB en recherche et développement (R&D). Quant à la Chine, ses ambitions sont immenses. En dix ans, ses investissements en R&D ont explosé : de 12 milliards de dollars en 2001 à 135 milliards en 2011. Le pays veut être présent dans les domaines en ébullition : génomique, nanotechnologies, spatial, etc. Et fait un effort particulier pour séduire les scientifiques : un programme de recrutement a abouti au retour au pays de centaines de brillants sujets de l'empire du Milieu formés dans les meilleures universités occidentales. Prise en étau, la science européenne va devoir prouver qu'elle a du talent.

À nos lecteurs

Pour partager avec vous notre passion pour la science et les découvertes, nous souhaitons faire un magazine proche de vos sujets d'intérêt et de vos exigences. Donnez-nous votre opinion d'une manière simple et peu contraignante, par Internet sur le site www.larecherche.fr, en cliquant sur la rubrique « Libre Réponse ». Nous vous remercions d'avance pour votre participation.

© PHOTO DAHMANE

La Recherche

N° 470
Décembre 2012

La Recherche
est publiée par
Sophia publications,
filiale d'Artémis.

En couverture :
© EKA/EUREKA
SLIDE-REPORTERS-REA

Offre d'abonnement : p. 103

Ce numéro comporte un encart *La Recherche* (ventes France) ; un encart Edigroup (ventes Belgique et Suisse) ; un encart Unipress sur une sélection d'abonnés.

actualités

8 L'événement

Quelle expertise scientifique après le verdict du procès de l'Aquila ?

par Fiorenza Gracci

La condamnation de sismologues italiens à de la prison ferme inquiète. Elle pose la question d'une meilleure communication à propos des risques.

3 Éditorial

6 Courrier

12 Astres

> Comment un trou noir éjecte la matière qu'il avale

> Exoplanète : un réservoir de comètes autour de l'étoile Bêta Pictoris

14 Matière

> Une goutte liquide dans un solide

> Physique quantique : fin du débat autour de l'état supersolide ?

16 Terre

> Une plaque tectonique fracturée par les séismes indonésiens

> Climat : des étés pluvieux liés au réchauffement des eaux atlantiques

18 Mathématiques

> Comment se mettre d'accord sur un rendez-vous ?

20 Vie

> Des ovocytes créés à partir de cellules souches

> Dinosaures : des dents plus complexes que celles des mammifères

22 Archéologie

> Des datations au carbone-14 beaucoup plus précises

> Pacifique : les statues de l'île de Pâques n'ont pas été transportées debout

24 Cerveau

> Supprimer la peur de notre mémoire

26 Populations

> Des tribunaux indigènes viennent à bout des guerres

28 Santé

> Vers un traitement contre la progéria ?

> Neurologie : les benzodiazépines favoriseraient la maladie d'Alzheimer

30 Technologie

> Un matériau thermoélectrique plus performant

> Développement durable : des composants électroniques biodégradables

32 À surveiller

34 Acteurs

Dossier spécial p. 73

Qualité de l'air
réalisé avec le soutien de l'ADEME, du LISA, du LGGE, de la FIMEA et de Renault.

www.larecherche.fr

POUR RECHERCHER
> Les archives du magazine : Trouvez les sujets qui vous intéressent dans une base de plus de 20 000 articles

POUR S'INFORMER
> L'actualité de la recherche, le blog des livres et l'agenda des manifestations scientifiques

POUR ACHETER
> Abonnement et vente d'anciens numéros
> Livres sélectionnés par *La Recherche*, outils du chercheur

La Recherche sur Twitter... Rejoignez-nous sur Twitter pour un éclairage original sur la science et les technologies **http://twitter.com/maglarecherche**

savoirs

38 **Dossier**

OGM, vérités & mensonges

La consommation d'OGM aura-t-elle des effets sanitaires à long terme ? Si en Europe les risques liés aux OGM sont mieux évalués qu'ailleurs, l'interrogation reste légitime. Comment y répondre quand les essais sur les rats sont insuffisants ? En France, où existe l'étiquetage « sans OGM », le consommateur a le choix.

40 Francis Chateauraynaud : « L'argument de la santé est un moyen de pression »
propos recueillis par Nicolas Chevassus-au-Louis

42 Les effets toxiques impossibles à prouver par Cécile Klingler

46 Les deux types d'OGM les plus fréquents par Lise Loumé

48 L'évaluation des OGM en 6 questions par Anne Debroise

52 Des étiquettes pour plus de transparence par Marine Cygler

58 **Physique**
La fragilité des réseaux couplés
par Marc Barthélemy

62 **Anthropologie**
Trois vérités sur la fin du monde
par Wiktor Stoczkowski

66 **Santé**
La France et la Chine coude à coude à Suzhou par Aline Richard

70 **Portrait Dario Autiero**
« Ce qui compte, c'est que nous avons mesuré la vitesse du neutrino » par Denis Delbecq

idées

86 **L'entretien du mois**
avec Virginie Maris
« Les sciences de l'environnement ont besoin de la philosophie »
Propos recueillis par Nicolas Chevassus-au-Louis

90 **Déchiffrage**
Moins de 50 % d'enfants blancs aux États-Unis ?
par Hervé Le Bras

91 **Le grand débat**
Surdité : pour ou contre les implants
avec Natalie Loundon et Brigitte Lemaine

94 **L'invité**
Fabien Pelous
Je ne suis pas scientifique mais...
propos recueillis par Lise Loumé

100 **Histoire de science**
La naissance houleuse de la paléontologie
par Éric Sartori

95 **Les livres**

104 **L'agenda**

106 **Curiosités**

Améliorer la vision

Cahier
› Internet et cerveau • 4

4 • Les effets positifs des jeux vidéo

Accusés de développer l'agressivité, les jeux d'action sont surtout très efficaces pour améliorer l'attention, la vision et la vitesse de réaction.

L'essentiel

Parmi les divers effets bénéfiques des jeux vidéo évoqués dans le dossier sur Internet et le cerveau (*La Recherche* n° 467, p. 58), Daphné Bavelier mentionne une amélioration de l'acuité visuelle, c'est-à-dire la possibilité de « lire des textes plus petits ». Sachant que dans le cas de la myopie la diminution de l'acuité visuelle est causée par un problème physique (le cristallin est trop convergent), l'amélioration de l'acuité visuelle par la pratique des jeux vidéo n'est-elle possible que chez les personnes n'ayant aucun défaut de l'œil ? Est-elle due à un mécanisme neurologique, ou a-t-elle une manifestation physique au niveau de l'œil, qui pourrait être exploitée pour atténuer certains défauts ?

• *Courriel de François Bouteiller*

Réponse de Daphné Bavelier

Ce que nous savons à ce jour, c'est que les régions du cerveau où la vision est prise en charge sont utilisées pour faire un meilleur usage de l'information visuelle reçue par l'œil : une sorte d'apprentissage de la vision. Pour y parvenir, la meilleure approche est ainsi de commencer par corriger les défauts possibles de l'œil, au niveau du cristallin ou de la rétine. Ce problème réglé, l'entraînement par les jeux vidéo offre la possibilité de corriger un peu plus la vision. Cela fonctionne dans le cas de l'amblyopie, ou d'autres problèmes visuels connus pour être causés par des limitations du traitement des informations par le cerveau.

Viking anglophone

Dans l'article « Un roi profanateur de sépultures » (*La Recherche* n° 468, p. 22), on réfère au roi scandinave du XI[e] siècle Harald Bluetooth. Si le journaliste ne connaît pas son nom en ancien norrois, pourquoi l'affubler de ce sobriquet anglais au lieu de l'appeler Harald Dent Bleue ? Faudra-t-il désormais nommer l'empereur Frédéric Red Beard ou la reine Berthe Large Feet, pour ne donner que ces exemples médiévaux ?

• *Courriel de Bernard Terreault*

Réponse de Nicolas Constans

Vous avez sans doute raison. J'ai considéré que c'était sous le nom de « Bluetooth » que ce roi était le plus susceptible d'être connu des lecteurs. Pour Berthe au grand pied ou Barberousse, le problème ne se poserait donc pas. De la même manière, si l'usage de Rapa Nui pour désigner l'île de Pâques se répandait, j'utiliserais alors le premier terme. Vous pouvez considérer que nous devons accompagner l'usage, plutôt que de le suivre. Mais cela fait partie des petits détails qui, accumulés, rendent un texte moins clair.

Super multitâches

L'article sur l'impact du Web sur le cerveau (*La Recherche* n° 467, p. 46) parle des performances des personnes « multitâches », capables de faire plusieurs choses à la fois. J'ai appris que même quand deux activités sont menées de front, les deux hémisphères du cerveau qui se répartissent les tâches ne s'activent pas simultanément, mais alternativement de façon très rapide : on observe un « clignotement » sur les IRMf. Est-ce toujours le cas chez les 2,5 % de personnes réellement multitâches, ou les appelle-t-on ainsi uniquement parce qu'ils conservent leur concentration et leurs performances dans tous les cas ?

• *Courriel de Cécile Paradis*

Réponse de David Strayer

Les « super-multitâches » montrent différents niveaux d'activation dans les portions droite et gauche du cortex frontal, et cela pourrait être une raison pour laquelle leurs performances sont meilleures que celle des « multitâches » normaux. De précédentes études ont montré que les hémisphères gauche et droit du cerveau traitent les informations spatiales et verbales en même temps. Il est possible que l'avantage des « super-multitâches » reflète une meilleure séparation des régions du cerveau prenant en charge les différentes tâches, les rendant capables d'effectuer ces tâches en parallèle plutôt que de façon alternative.

Vaccins précoces

L'échec des essais de vaccins contre la maladie d'Alzheimer (*La Recherche* n° 469, p. 28) serait, selon des experts, dû au fait que les patients concernés n'ont pas été traités assez tôt. Or certaines personnes, portant une prédisposition génétique, déclarent la maladie de façon précoce. Les différents types de vaccins évoqués pourraient-ils être efficaces sur ces personnes, qui sont les seules dont on peut prévoir la maladie ? Dans les autres cas, sachant que la maladie se déclenche dix à quinze ans avant les premiers symptômes, à quel stade faudrait-il pouvoir la dépister afin que le vaccin soit efficace ? Et si le dépistage se révélait trop difficile, pourrait-on envisager une vaccination systématique ?

• *Courriel de Stéphanie Latorche*

Réponse de Luc Buée

Oui, il est possible que ces vaccins soient efficaces sur des formes héréditaires de maladie d'Alzheimer. Le réseau médical qui va réaliser des essais cliniques chez ces patients présentant une forme familiale de la maladie a choisi d'inclure deux de ces vaccins dans son étude (http://bit.ly/AlzforumDIAN). La vaccination systématique, par contre, n'est pas possible. Le peptide amyloïde est produit normalement en faible quantité. Dans le cas de la maladie d'Alzheimer, il s'accumule en formant des plaques dans le cerveau : il faut éliminer l'excès, et cela justifie une vaccination. Comme tous les traitements, il faut le commencer quand on présente les symptômes de la maladie. Il faut donc améliorer le diagnostic pour être moins tardif et débuter le traitement de façon plus précoce qu'actuellement.

Sauf mention contraire de leur auteur, toute lettre parvenue à la rédaction de *La Recherche* est susceptible d'être éditée et publiée, en tout ou en partie, dans le journal. Les lettres concernant un auteur extérieur à la rédaction de *La Recherche* lui sont envoyées. Sans réaction de l'auteur dans un délai raisonnable, nous les considérons comme publiables en tout ou en partie, sans attendre une éventuelle réponse de sa part. Dans la mesure du possible, évitez les fax et les lettres manuscrites.

Vous êtes
créatif
audacieux
innovant

devenez chercheur-e
au CNRS

En 2013, le CNRS recrute 307 chercheur-e-s dans tous les domaines scientifiques.

Les personnes en situation de handicap peuvent également être recrutées par la voie contractuelle.

© CNRS Photothèque/EDYTEM - Stéphane Jaillet

cnrs
dépasser les frontières

Inscription aux concours sur le site www.**cnrs**.fr
à partir du **3 décembre 2012**
Clôture des inscriptions : **7 janvier 2013**

CONTACT PUBLICITAIRE : ANTOINE FAURE 01 44 10 12 57

cnrs

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs **formation** entreprises

16 axes de formation

- Electronique
- Génie logiciel
- Modélisation
- Traitement du signal optique
- Mise en œuvre des matériaux
- Caractérisation des matériaux
- Sécurité, radioprotection
- Microscopies
- Chromatographies
- Spectroscopie et analyse
- Spectrométrie de masse
- Résonance magnétique nucléaire
- Biologie
- Bioinformatique
- Expérimentation animale
- Qualité, environnement, climat

Des formations aux technologies de pointe pour les ingénieurs et les techniciens

Des stages de courte durée (3 à 5 jours) se déroulant dans les laboratoires du cnrs en effectifs réduits (env. 10 stagiaires)

Une pédagogie basée sur l'expérimentation

La possibilité de stages organisés en intra-entreprise

cnrsformation.cnrs.fr

cfe.contact@cnrs.fr - 01 69 82 44 55

L'événement

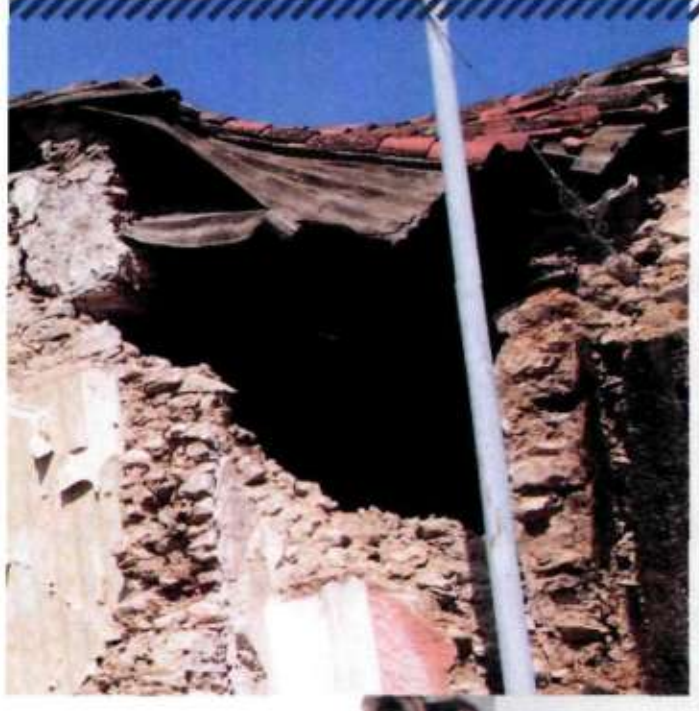
Quelle expertise scientifiq le verdict du procès de L'Aq

La condamnation de sismologues italiens à de la prison ferme inquiète. Elle pose la question d'une meilleure communication à propos des risques.

Par **Fiorenza Gracci,** journaliste.

Telle une réplique sismique, le verdict de L'Aquila déstabilise la science italienne. Après la condamnation, fin octobre, de six scientifiques et d'un haut fonctionnaire pour leurs propos d'avant le tremblement de terre jugés trop rassurants, une partie des membres de la Commission nationale pour la prévision et la prévention des risques majeurs ont démissionné, estimant qu'ils ne pourraient plus travailler « dans la sérénité et l'efficacité ». Dans toute l'Europe, l'inquiétude pointe du côté des scientifiques. « *Nous avons appris avec une très grande émotion la décision de justice* », écrit ainsi Alain Carpentier, président de l'Académie des sciences française à son homologue italien. De la prison ferme pour les experts qui s'étaient prononcés sur le risque sismique à L'Aquila, quelques jours avant le séisme meurtrier de 2009, voilà de quoi s'émouvoir : condamner des sismologues éminents pour ne pas avoir prévu un tremblement de terre, c'est absurde ! En réalité, la question est moins celle de la prédiction des séismes, dont chacun reconnaît qu'elle est impossible, que de la communication des risques éventuels, domaine glissant, mais aujourd'hui enjeu crucial pour les scientifiques, en Italie et dans le monde entier.

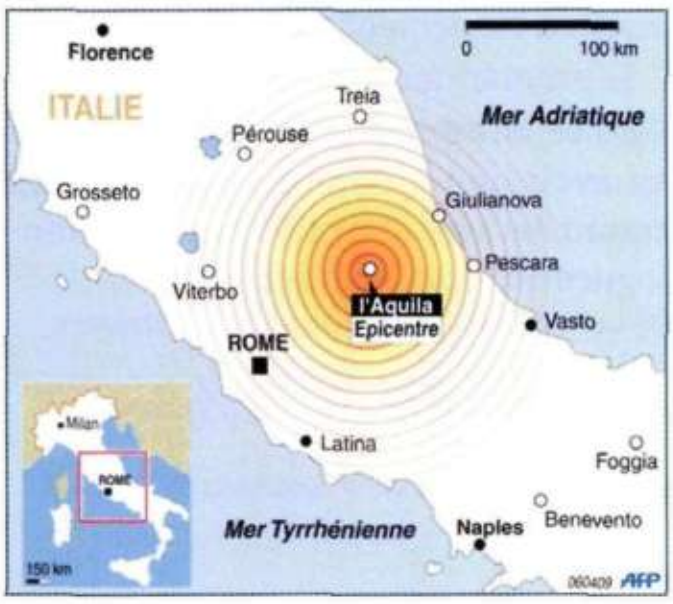
Réunion d'urgence. Que s'est-il donc passé en ce début de printemps 2009 dans cette région montagneuse des Abruzzes, connue pour son risque sismique ? Après des mois de légère activité, des secousses de magnitude 4,1 ébranlent le 30 mars la province de L'Aquila, suscitant l'inquiétude de la population. D'autant plus qu'un technicien d'un



Un pompier fouille les décombres d'une maison détruite par le séisme qui a frappé la région des Abruzzes le 6 avril 2009. Une semaine auparavant, des experts s'étaient exprimés sur le risque sismique. Ci-dessous, la dernière audience du procès qui leur a été intenté, le 22 octobre 2012. © CHRISTOPHE SIMON/AFP - D'ANTONIO/FOTOGRAMMA/ROPI-REA

ue après uila ?

laboratoire de physique local prétend que des émanations de gaz radon indiquent l'imminence d'un fort tremblement de terre. Ce phénomène n'a toutefois pas de lien de causalité prouvé avec les séismes. Le lendemain, la Protection civile convoque alors à L'Aquila une réunion d'urgence de la Commission risques majeurs, composée d'experts, pour *« fournir aux citoyens des Abruzzes toutes les informations dont disposent les scientifiques »*.



Les participants ? Un fonctionnaire de la Protection civile et six sismologues, scientifiques réputés des universités de Rome, de Gênes, de Naples et de centres de recherche en géologie et sismologie. La réunion dure une heure. Certains des participants s'expriment ce jour-là auprès des médias locaux. Message à destination de la population : essentiellement rassurant. Le compte-rendu de la réunion, lui, ne sera publié qu'une semaine plus tard, après le séisme tragique.

Car le soir du 5 avril, la terre tremble à nouveau sous les pieds des Aquilains, avec une intensité de 3,9. Et puis encore plus fort : à 3 h 32, la nuit du 6 avril, une secousse de magnitude 6,3 frappe la ville. Le bilan est lourd : 309 victimes, 1 600 blessés, 20 000 bâtiments détruits et 65 000 sans-abri.

Quelques mois après, 36 familles de victimes se constituent partie civile. Les participants à la réunion fatidique sont inculpés d'homicide et de blessures involontaires. Malgré une lettre de soutien signée par 4 000 scientifiques du monde entier, le procès commence le 20 septembre 2011 à L'Aquila. Lors de l'instruction, le parquet prouvera que 29 victimes se sont senties rassurées par les propos des scientifiques et sont restées dormir chez elles après le 5 avril. Contrairement à une coutume ancestrale : en cas de tremblements, les anciens de L'Aquila dormaient dehors. Le 22 octobre 2012, fin du procès, et verdict sévère : six ans de prison ferme et plus d'un million d'euros de dommages et intérêts pour chacun des condamnés.

Bâtiments fragiles. Le malaise est général. Paradoxe, le fait de rester chez soi est en général une bonne décision en cas de secousse. *« C'est jugé plus sûr. D'ailleurs, à L'Aquila, 95% des bâtiments sont restés debout. La faute est donc aux bâtisseurs des maisons qui n'ont pas tenu »*, souligne Paolo Gasparini, professeur de géophysique à l'université de Naples et président d'AMRA, centre d'analyse du risque environnemental. Une analyse rétrospective du séisme montre à ce propos qu'évacuer les édifices les moins solides ou reposant sur les sols plus fragiles est une bonne manière de limiter les dégâts [1].

Que reproche-t-on alors aux scientifiques ? Les motivations du juge n'ont pas encore été publiées. Mais dès le début, il avait précisé qu'il ne s'agissait pas de punir le défaut de prévision du séisme. Mais plutôt l'imprudence et la négligence *« pour avoir fourni des* >>>

L'essentiel

> SIX SCIENTIFIQUES ITALIENS et un responsable de la protection civile ont été condamnés à six ans de prison pour avoir mal informé le public avant le séisme de L'Aquila de 2009.

> DES SCIENTIFIQUES pourraient refuser de donner leur avis à l'avenir dans de telles situation.

> UNE SOLUTION serait de clarifier les rôles des experts et du pouvoir politique.

Quelle expertise scientifique après le verdict du procès de L'Aquila ?

>>> *informations incomplètes, imprécises et contradictoires sur la dangerosité de l'activité sismique à l'œuvre ».*

Juge d'instruction au pôle santé du tribunal de Paris, Marie-Odile Bertella-Geffroy estime qu'une telle condamnation peut être envisagée sur le plan du droit pénal français : *« En tant qu'organe consultatif, la Commission risques majeurs peut être inculpée pour défaut d'alerte, si elle était au courant du risque. Mais il est vrai que la responsabilité revient le plus souvent au décideur, s'il est alerté. »* En l'occurrence, le numéro un de la Protection civile, Guido Bertolaso : il a en effet été mis en examen, et son procès est en cours, *« mais d'une façon un peu étonnante, distincte du procès des experts »*, note la juge. D'après l'enquête, sa volonté était de faire de cette réunion une « opération médiatique » pour tranquilliser la population.

« En France, les peines pour homicide involontaire sont dans la pratique toujours assorties du sursis, sur ce type d'affaire, mais ce n'est pas le cas de l'Italie », explique Marie-Odile Bertella-Geffroy. Quoi qu'il en soit, il y a un risque que le verdict de L'Aquila fasse jurisprudence, en Italie, et peut-être ailleurs.

Du coup, les scientifiques s'inquiètent. Conséquence possible : le silence. La réticence à s'exprimer par crainte des répercussions judiciaires. Surtout que l'expertise est bien mal encadrée par la loi. Selon Paolo Gasparini, la difficulté fondamentale vient du caractère probabiliste des conclusions scientifiques lors de risques naturels : *« Le scénario considéré le moins probable par les sismologues peut tout à fait avoir lieu. La seule manière de dépasser cet obstacle serait une législation qui en tienne compte, et qui séparerait aussi plus nettement les responsabilités des experts et des décideurs. »*

La situation est un peu plus favorable ailleurs. Aux États-Unis, dès l'ouverture du procès de L'Aquila, les sismologues du Conseil d'évaluation de la prévision des séismes se sont empressés de se renseigner sur leur statut juridique. *« Le Conseil étant une agence fédérale, c'est le gouvernement qui peut être poursuivi, et pas ses membres »*, rapporte Barbara Romanowicz, actuellement professeur au Collège de France.

Communiquer l'incertitude. Au-delà du cas de L'Aquila, cette affaire révèle combien la communication sur le risque est devenue un enjeu crucial. Paolo Gasparini le reconnaît : *« La communication est l'un des points faibles quand il s'agit d'évaluer un danger, et cela dans le monde entier. »* Il existe pourtant des experts de ce domaine. Patrick Lagadec, de l'École polytechnique, est l'un d'eux [2]. Selon ce spécialiste des crises hors cadres, les scientifiques devraient souligner fortement l'incertitude des données chaque fois qu'ils sont consultés. *« Une commission d'experts réunie doit d'urgence clarifier la situation en disant : notre mission est de donner des éléments d'appréciation aux décideurs et non de rassurer. Nos connaissances indiquent qu'il n'y a pas de lien certain entre des faibles secousses et un séisme important ; mais cela ne veut pas dire qu'il n'y aura pas de tremblement de terre. »* Et il met en garde : *« Si l'expert n'est pas formé à affronter les situations de crise et à communiquer, il risque d'être instrumentalisé, par le politique ou les médias. »*

De son côté, la Commission internationale de prévision des séismes pour la protection civile souligne les bénéfices d'une communication du risque efficace, notamment en amont des crises : *« Une bonne information maintient la population consciente de l'état courant du danger, contribue à améliorer sa préparation et diminue l'impact d'informations infondées* [3]. »

Certains sismologues ont d'ores et déjà tiré les leçons du procès italien. Comme Lucy Jones, membre du Conseil californien d'évaluation de la prévision des séismes et de l'expertise américaine en géologie. *« Depuis L'Aquila, on a compris qu'il faut affronter le problème de l'incertitude,* constate-t-elle. *Compte tenu de la géologie de la Californie, toute réponse doit être très rapide : dans l'heure qui suit une première secousse, un fort tremblement est environ cent fois plus probable. Mais comme il reste peu probable dans l'absolu, la décision d'appliquer des mesures d'urgence est souvent soumise aux aléas politiques. »*

La chercheuse et ses collègues développent donc un programme qui tend vers plus d'objectivité. Par exemple en discutant en amont avec les services d'urgence sur la manière de gérer les alertes, et en insistant sur la notion d'incertitude. *« Voici l'idée : nos appareils surveillent constamment l'activité sismique et calculent en continu le niveau de risque à l'aide de modèles confirmés,* détaille Lucy Jones. *Chaque niveau correspond à des mesures d'urgence préétablies et des messages d'alerte appropriés. Ces derniers sont formulés par des sociologues experts en communication du risque pour qu'ils soient perçus correctement par la population. »*

Le programme sera opérationnel dans l'année. En attendant, le procès en appel va avoir lieu à L'Aquila. Ses attendus seront lus avec attention par les sismologues du monde entier. ■

Un tableau de bord des séismes

Les tentatives de prévoir les séismes et d'affiner le système d'alerte avancent avec de nouveaux outils scientifiques. Par exemple, le projet européen multidisciplinaire Reakt vise à mitiger le risque sismique en fournissant en temps réel un tableau complet de la situation [1]. Les chercheurs élaborent des systèmes pour combiner la prévision probabiliste des séismes, l'alerte précoce et le calcul rapide des dégâts. Il a déjà fait ses preuves au Japon, et sera bientôt mis en œuvre dans la mer de Marmara et en Espagne, ainsi que pour la protection de sites industriels, d'écoles et de voies ferrées. [1] www.reaktproject.eu

[1] T. van Stiphout *et al., Geophysical Research Letters, 37,* L06306, 2010.
[2] P. Lagadec, *Du risque majeur aux mégachocs,* Préventique, 2012.
[3] T. Jordan *et al., Annals of Geophysics, 54,* 316, 2011.

la première radio à lire !

france culture papiers

À PARTIR DU 30 NOVEMBRE

En librairie et en kiosque

N°4

Renseignements et abonnement
sur **franceculturepapiers.fr**

bayard

Astres

En bref

EXOPLANÈTE PROCHE

Une équipe européenne a découvert l'exoplanète la plus proche du système solaire. En orbite autour de l'étoile Alpha Centauri B, elle se situe à seulement 4,3 années-lumière de nous. Avec une masse voisine de celle de la Terre, cette planète est aussi la plus légère détectée autour d'une étoile comparable au Soleil. La comparaison s'arrête là, l'exoplanète ne se trouve pas dans la zone dite habitable. Les astronomes n'excluent toutefois pas la possibilité de découvrir d'autres planètes dans une telle région autour d'Alpha Centauri B car la plupart des exoplanètes connues de faible masse se trouvent en majorité dans des systèmes multiplanétaires.

X. Dumusque *et al*, *Nature*, doi:10.1038/nature11572, 2012.

CONSTANTE DE HUBBLE AFFINÉE

Chaque seconde, chaque volume d'Univers de trois millions d'années-lumière de côté gagne 74,3 kilomètres dans ses trois dimensions. C'est la nouvelle valeur de la constante de Hubble, qui décrit la vitesse d'expansion de l'Univers, la plus précise obtenue à ce jour. Elle a été mesurée par le satellite Spitzer grâce à l'étude de dix étoiles céphéides – qui servent d'étalons de distance – de notre galaxie et 80 autres du Grand Nuage de Magellan. Grâce à sa vision infrarouge qui lui permet de voir à travers la poussière interstellaire, Spitzer a affiné la valeur de la constante obtenue précédemment par le satellite Hubble.

W. Freedman *et al.*, *ApJ*, *758*, 24, 2012.

sur le web

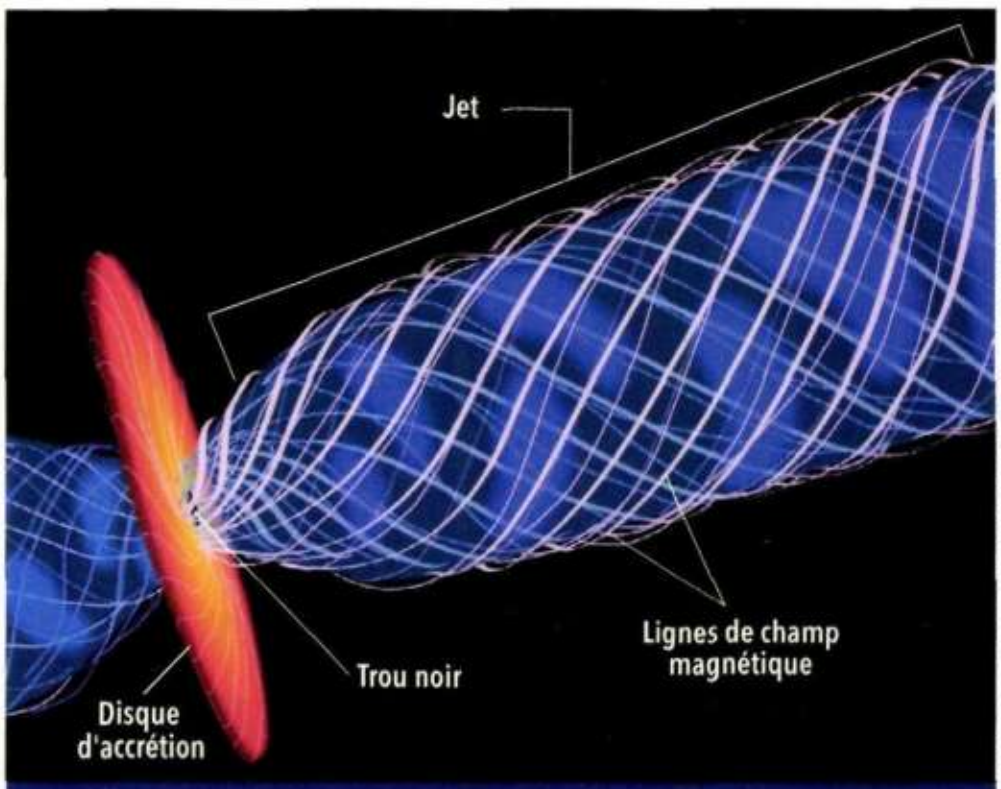
http://tinyurl.com/eso-50ans

Un film sur l'histoire de l'Observatoire européen austral, à l'occasion de ses 50 ans.

Comment un trou noir éjecte la

ASTROPHYSIQUE

Des astronomes ont mesuré pour la première fois le diamètre du jet de matière expulsé par un trou noir supermassif.



© NASA AND ANN FIELD (SPACE TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE)

Un disque d'accrétion composé de gaz et de poussières (en orange) entoure le trou noir et crée un champ magnétique (lignes roses), expulsé loin dans l'espace par le trou noir. La matière est canalisée dans deux jets qui se propagent dans des directions opposées.

S'échappant du cœur de la galaxie M87 à une vitesse proche de celle de la lumière, un jet de matière extrêmement lumineux s'étend dans l'espace sur plus de 5 000 années-lumière. Cible privilégiée des astronomes, cet immense faisceau de particules n'en reste pas moins mystérieux. Si l'on suspecte un trou noir supermassif d'en être à l'origine, le mécanisme exact de formation soulève de nombreuses questions. Les travaux d'une équipe dirigée par Sheperd Doeleman, de l'observatoire Haystack, du MIT, aux États-Unis, lève un grand coin du voile : ils sont parvenus à observer la base du jet et à en mesurer son diamètre [1]. Une indication précieuse pour mieux comprendre le phénomène.

La plupart des galaxies, pensent les astronomes, hébergent en leur centre un trou noir supermassif. Dans certaines galaxies, comme M87, la matière qui tombe dans le trou noir crée un disque dit d'accrétion autour du trou. Ce disque émet un intense rayonnement sur l'ensemble du spectre électromagnétique. De telles galaxies sont appelées des galaxies actives. Plus spectaculaire encore, 10 % d'entre elles sont affublées d'un puissant jet de matière.

Pour expliquer ce phénomène, les astrophysiciens ont bâti le scénario suivant : dans le disque d'accrétion qui tourne très vite autour du trou noir, la matière, chauffée à l'extrême, crée un intense champ magnétique. Déformées par l'énorme attraction gravitationnelle du trou noir, les lignes de ce champ magnétique s'entortillent et finissent par se casser. Elles se propagent alors très loin dans l'espace et canalisent la matière en deux jets qui partent dans deux directions opposées. « *Pour cela, outre le fait que le champ magnétique doit être suffisamment fort pour contenir la matière dans le jet, on pense que le trou noir doit tourner sur lui-même pour éjecter une partie de la matière qu'il avale* », explique Philippe Laurent, du laboratoire astroparticules et cosmologie à Paris.

zoom

Une spirale de poussière et de gaz

Cette étonnante structure en spirale a été découverte autour de l'étoile R Sculptoris (au centre du cliché) par le radiotélescope Alma installé au Chili. R Sculptoris est une géante rouge, étoile en fin de vie ayant enflé démesurément. Au cours de cette phase, elle émet de grandes quantités de poussière et de gaz qui finissent par former autour d'elle une gigantesque coquille de matière. De précédentes observations avaient déjà révélé une enveloppe sphérique (le disque externe brillant), mais elles n'avaient pas mis en évidence cette spirale. Selon les astronomes, c'est la présence d'une seconde étoile à quelque 60 unités astronomiques qui aurait sculpté la matière émise par la géante rouge pour lui donner cette forme si particulière.

M. Maercker *et al.*, *Nature*, *490*, 232, 2012.

matière qu'il avale

C'est ce qu'ont mis en évidence Sheperd Doeleman et ses collègues : selon eux, le trou noir de M87 tourne bien sur lui-même, et ce dans le même sens que le disque d'accrétion. *« C'est la première fois que des observations révèlent la rotation d'un trou noir et la relient à la formation du jet »*, se réjouit Philippe Laurent. Pour arriver à cette conclusion, les astronomes, combinant les données collectées par trois radiotélescopes américains très éloignés les uns des autres, ont mesuré avec une grande précision la base du jet, à l'endroit même où il est expulsé par le trou noir. Ces observations ont révélé un jet 50 000 fois plus petit que le disque d'accrétion. Cette petite taille est incompatible avec un trou noir statique ou qui tourne dans le sens inverse du disque d'accrétion, d'où la conclusion des chercheurs.

Cette découverte, qui donne du poids au modèle imaginé par les astrophysiciens, pose toutefois une question. *« La petite taille du jet est vraiment une surprise,* confie Philippe Laurent. *Comment expliquer qu'une énergie aussi grande soit libérée par une région aussi étroite ? »* De futures observations avec plus encore de radiotélescopes pourraient permettre de trancher. ■ **Julien Bourdet**

[1] S. Doeleman *et al, Science, 338,* 355, 2012.

EXOPLANÈTE *Un réservoir de comètes autour de l'étoile Bêta Pictoris*

QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Alain Lecavelier des Étangs est spécialiste des exoplanètes à l'Institut d'astrophysique de Paris.

Des comètes viennent d'être détectées autour de l'étoile Bêta Pictoris. De quelle manière ?

A.L.É. Bêta Pictoris est une étoile qui intéresse les astronomes au plus haut point. Âgée de seulement 12 millions d'années, elle *doit ressembler à ce que fut* probablement le Soleil dans sa jeunesse : elle possède au moins une planète huit fois plus massive que Jupiter et est encore entourée d'un épais disque de poussière. En analysant, avec le satellite européen Herschell, la lumière infrarouge émise par ces poussières, l'équipe dirigée par Ben de Vries, de l'université catholique de Louvain, a identifié la présence de cristaux d'olivine riches en magnésium et pauvres en fer [1]. Dans le système solaire, on trouve de tels cristaux dans les petits corps primitifs, les comètes. Ce qui fait dire aux chercheurs que ces grains d'olivine se trouvaient renfermés au départ dans des objets similaires avant d'être dispersés dans le disque de poussières par les collisions encore très fréquentes entre ces derniers.

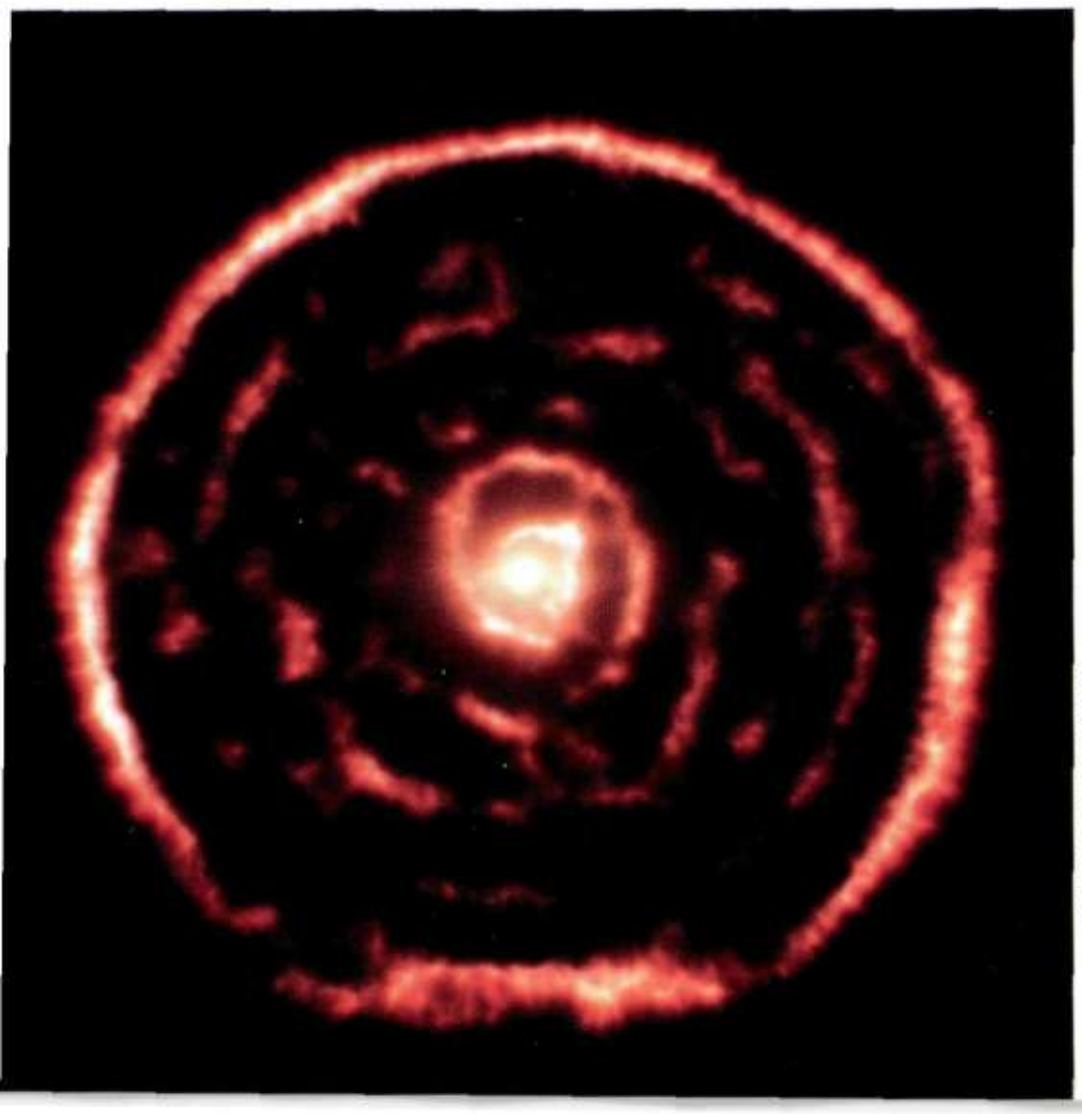
L'existence de comètes autour de cette étoile n'était-elle pas connue ?

A.L.É. Effectivement, depuis plus de vingt ans, on observe régulièrement de brefs nuages de gaz qui plongent vers Bêta Pictoris. Pour les astronomes, cela fait peu de doutes : des comètes s'écrasent sur l'étoile, libérant au passage le gaz qu'elles renferment. Ces derniers travaux confirment donc l'existence des comètes mais ils apportent tout de même un élément nouveau : la température de l'olivine de – 190 °C, mesurée par Herschell, indique que ces comètes se situent dans des régions très froides, loin de l'étoile, entre 15 et 45 fois la distance Terre-Soleil (unités astronomiques, UA). On assisterait ainsi à la mise en place d'un vaste réservoir de petits corps glacés, l'équivalent de la ceinture de Kuiper dans le système solaire, situé entre 30 UA et 50 UA du Soleil. Réservoir dont pourraient provenir les comètes qu'on voit s'écraser sur leur étoile.

Que peut-on dire de la formation de ces comètes ?

A.L.É. Ces observations posent une question : on sait en effet que les cristaux d'olivine ne peuvent se former qu'à moins de 10 UA de l'étoile, là où les températures sont plus chaudes. Comment donc expliquer qu'on retrouve de l'olivine à plus de 15 UA ? Selon les auteurs, ce serait le signe que le disque de poussières a connu un grand brassage à une époque très primitive. Le vent stellaire, ajouté à des phénomènes turbulents dans le disque en rotation, aurait ainsi poussé la matière dans des régions lointaines où elle aurait ainsi été incorporée dans les comètes. On peut aussi imaginer que ces comètes se soient formées près de leur étoile avant d'être éjectées plus loin, comme on pense que ce fut le cas dans le système solaire après la migration de certaines planètes géantes. ■ **Propos recueillis par J.B.**

[1] B. L. de Vries *et al., Nature, 490,* 74, 2012.



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

En bref

L'ÉLÉMENT 113 ENFIN DÉCOUVERT ?

Près de neuf ans d'efforts dont 553 jours de fonctionnement de leur collisionneur : c'est ce qu'il a fallu à des physiciens du Riken, au Japon, pour produire 3 atomes de l'élément 113. Cet atome superlourd possède un noyau qui contient 113 protons et 165 neutrons. Théoriquement, cela leur permet de prétendre à la paternité de l'élément. Deux comités internationaux doivent encore valider la découverte, ce qui prendra plusieurs mois au minimum. En outre, l'équipe japonaise doit affronter la concurrence d'une équipe américano-russe, qui assure de son côté avoir produit 56 atomes du même élément.

K. Morita *et al.*, *J. Phys. S. Jpn*, sous presse, 2012.

SYNTHÈSE SIMPLIFIÉE

Des chimistes de l'université de Bristol, au Royaume-Uni, viennent de réduire de 17 à 7 le nombre d'étapes nécessaires à la synthèse d'une hormone naturelle, la prostaglandine. Cette molécule est médiatrice de nombreux processus biologiques, dont la régulation de la température corporelle. Elle se compose d'un anneau de 5 atomes de carbone, et de 2 chaînes d'hydrocarbures situées de part et d'autre de cet anneau. Les chercheurs britanniques ont atteint leur but en modifiant, entre autres, le type de catalyseurs utilisés pour apparier deux molécules de succindyaldehyde, composé organique hautement réactif indispensable à cette synthèse.

G. Coulthard *et al.*, *Nature, 489*, 278, 2012.

sur le web

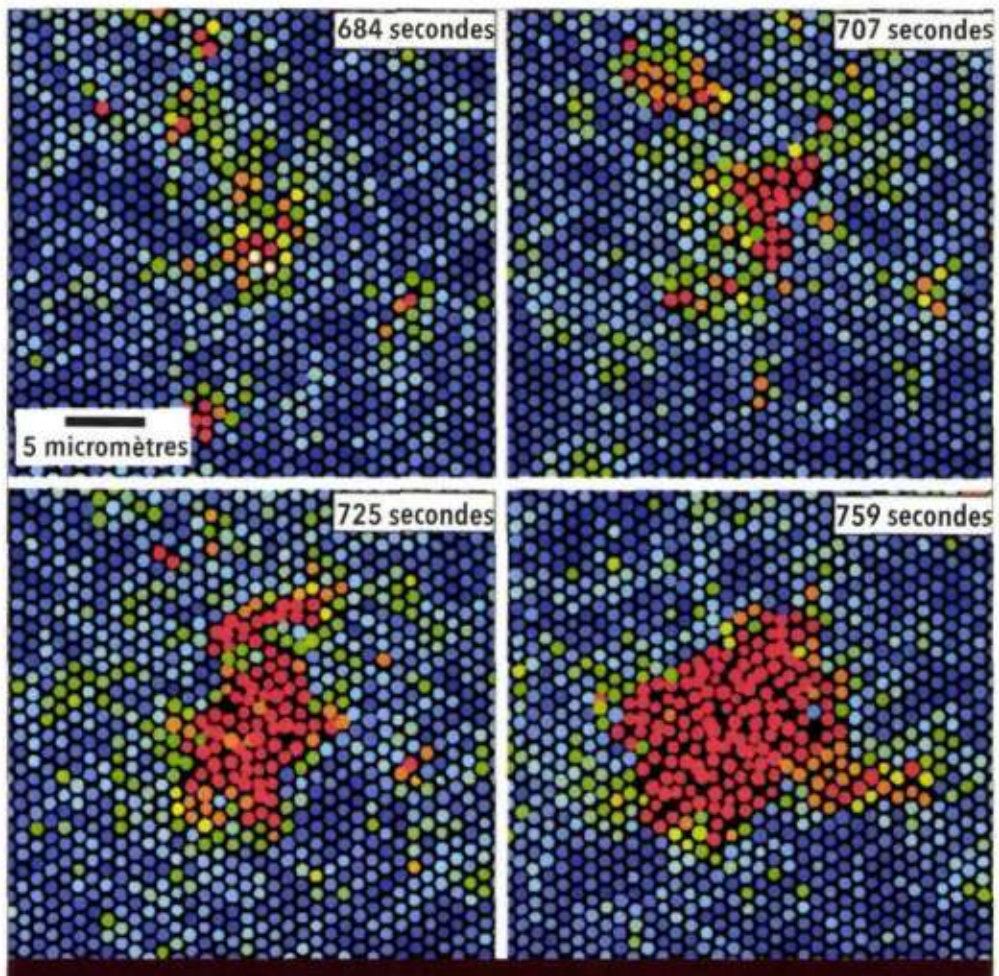
http://whystringtheory.com/

Pour ceux qui veulent tout savoir sur la théorie des cordes (en anglais).

Une goutte liquide dans un solide

MATÉRIAU

Que se passe-t-il quand un solide fond de l'intérieur ?



La fonte interne d'un cristal colloïdal chauffé par une lampe a été filmée au microscope. Un paramètre analogue à la température est représenté en couleur, du bleu (froid, solide) au rouge (chaud, liquide). On observe d'abord la formation de plusieurs « gouttes » de petite taille (en haut). Celles-ci finissent par s'agréger et former un noyau liquide (en bas).

© DPT OF PHYSICS/HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

En règle générale, un cristal fond à partir de l'extérieur quand il est chauffé. Mais pour bien comprendre ce changement de phase entre le solide et le liquide, des physiciens s'intéressent à la situation inverse : la formation de gouttes liquides à partir de l'intérieur. Ziren Wang et ses collègues de l'université des sciences et technologies de Hong Kong viennent d'observer ce phénomène en utilisant un système expérimental modèle. Les étapes de la fusion qu'ils décrivent sont en accord avec les prédictions de certaines simulations numériques [1].

Comment étudier la fonte d'un cristal ? « *Nous n'avons pas de méthode pour visualiser des atomes individuels dans un solide. On ne peut donc pas mener d'expériences sur des cristaux ordinaires* », explique Ludovic Berthier, du laboratoire Charles-Coulomb du CNRS et de l'université Montpellier-II. L'équipe chinoise a contourné le problème en remplaçant les atomes par des billes de polymère de taille micrométrique en suspension dans un liquide. Lorsque la densité de particules est assez élevée, celles-ci adoptent une structure bien ordonnée, identique à celle d'un cristal. Si la température augmente, le polymère se contracte, ce qui abaisse la densité de billes. La structure s'effondre alors : c'est le passage à l'état liquide.

Les physiciens ont chauffé ponctuellement l'intérieur de leur cristal, en focalisant une lampe chauffante. Ils ont pour cela utilisé l'objectif d'un microscope. Avec le même microscope, ils ont observé les déplacements des particules.

Au début du chauffage, des particules changent de place sans désorganiser la structure

Ils ont ainsi vu qu'au début du chauffage les particules se déplacent localement en décrivant des boucles où chacune prend la place de la suivante. Ces permutations ne désorganisent pas la structure cristalline. « *Ce mécanisme est peut-être le déplacement collectif le plus simple que l'on puisse imaginer dans un cristal* », commente Ludovic Berthier.

Dans ces boucles et à leur voisinage, les particules s'agitent et vibrent autour de leur position de repos. Puis, si le chauffage se prolonge, ces mouvements finissent par briser la structure. Une poche liquide se crée alors. Si elle dépasse une taille critique, elle continue à grossir, entraînant la fusion de proche en proche. Contrairement à ce que certains théoriciens pensaient, le passage à l'état liquide n'est donc pas nécessairement précédé de la formation de défauts dans le cristal.

■ **Florence Martinache**

[1] Z. Wang *et al.*, *Science, 338*, 87, 2012.

PHYSIQUE QUANTIQUE *Fin du débat autour de l'état supersolide ?*

QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Christophe Josserand est directeur de recherche à l'institut Jean-Le-Rond-d'Alembert, à Paris.

Un article vient de conclure que l'état supersolide n'existe pas. Pourquoi suscite-t-il autant d'intérêt ?

C.J. L'état supersolide serait un état quantique de la matière. Il se manifesterait dans des matériaux refroidis à des températures proches du zéro absolu (– 273,15 °C) : tout se passerait comme si une fraction du solide s'écoulait, sans friction ni dissipation d'énergie, dans le reste du matériau. Il a été prédit en 1969. Mais ce n'est qu'en 2004 que Moses Chan et Eunseong Kim, de l'université d'État de Pennsylvanie, ont annoncé avoir mis en évidence les premiers signes de supersolidité, dans de l'hélium ultrafroid. Or Moses Chan vient lui-même de remettre en question cette découverte [1]. Qu'il modifie son interprétation au bout de huit ans, après avoir repris et optimisé son expérience, a forcément beaucoup d'impact.

Tous les spécialistes étaient-ils d'accord avec cette interprétation ?

C.J. Non, plusieurs objections avaient été formulées. La principale concernait l'amplitude du phénomène observé. À la suite de l'annonce de Moses Chan, plusieurs équipes ont reproduit son expérience : ils ont rempli un cylindre de verre avec de l'hélium solide pressurisé ; le cylindre était lui-même contenu dans un cylindre d'aluminium, suspendu à une tige. Ils ont ensuite fait osciller le dispositif selon un mouvement de torsion, et ont mesuré sa fréquence d'oscillation en fonction de la température et de la pression. Ils ont observé le même phénomène : à quelques dixièmes au-dessus du zéro absolu, la vitesse d'oscillation augmente brusquement. Pour tous, cela ne pouvait signifier qu'une chose : une partie de l'hélium s'est transformée en supersolide et s'est mise à circuler sans friction ; la masse d'hélium s'opposant à l'oscillation étant moindre, il est normal que la fréquence de cette dernière augmente. En revanche, aucun d'entre eux ne pouvait expliquer pourquoi la proportion d'hélium supersolide variait de quelques dixièmes à quelques dizaines de pour cent d'une expérience à l'autre.

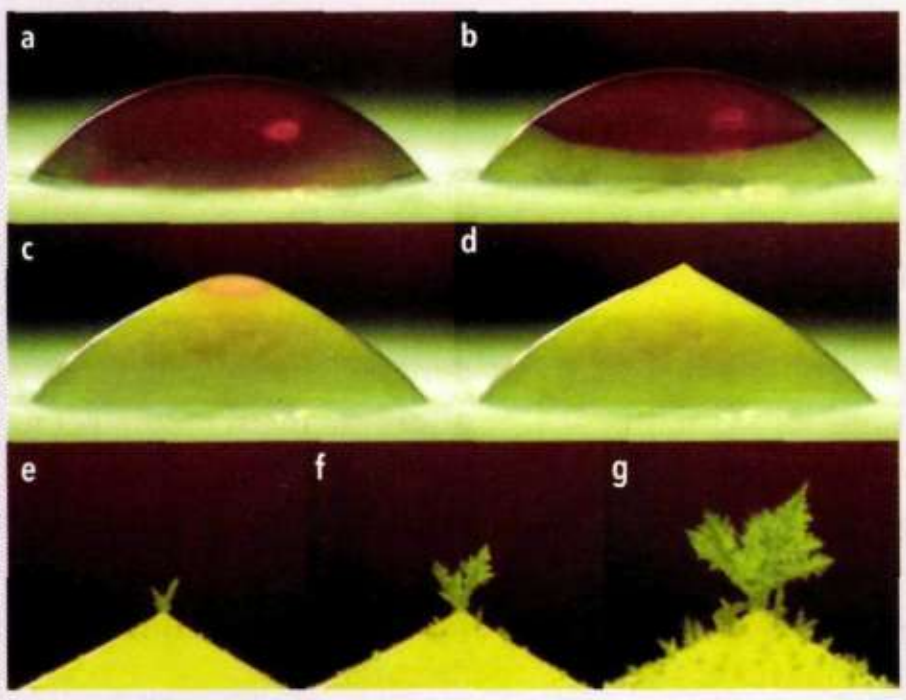
D'où provenait cette incohérence ?

C.J. Selon les dernières observations de Moses Chan, elle serait due à plusieurs facteurs. Premièrement, à une propriété de l'hélium solide découverte en 2007 : aux températures où apparaîtrait la supersolidité, il devient soudainement bien plus rigide. Ce résultat conduit également à une augmentation de la fréquence de l'oscillateur mais il ne suffisait pas à expliquer les mesures de supersolidité observées. Deuxièmement, Moses Chan a remarqué un défaut dans la conception du dispositif : il existait un espace entre le sommet du cylindre de verre et celui du cylindre d'aluminium permettant d'introduire l'hélium dans l'oscillateur. Une partie de l'hélium s'y est logée au moment où il a été refroidi, ce qui a rigidifié le dispositif et explique l'augmentation de sa fréquence d'oscillation. Dans sa nouvelle expérience, Moses Chan a donc, entre autres, enlevé ce conduit. Puis il a reproduit son expérience de 2004. Cette fois, les mesures ne montrent aucune augmentation de la fréquence d'oscillation.

Le débat sur l'état supersolide est-il définitivement clos ?

C.J. Il faut rester prudent : les derniers résultats de Moses Chan indiquent que ses mesures de 2004 ne sont pas dues à un effet supersolide mais cela ne montre pas que la supersolidité n'existe pas. De plus, il reste plusieurs expériences que le résultat récent n'explique pas. C'est le cas de celle qu'Eunseong Kim, aujourd'hui à l'Institut coréen avancé de science et de technologie, a réalisée en 2010, où l'ensemble du système est mis en rotation : pour le moins il faudrait la refaire au regard de ces derniers résultats. ■ **Propos recueillis par Vincent Glavieux**

[1] D.Y. Kim et M. Chan, *PRL*, sous presse, 2012.



© 2012 AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS/ OSCAR R. ENRIQUEZ, ALVARO G. MARIN, KOEN G. WINKELS AND JACCO H. SNOEIJER

zoom L'évolution singulière d'une goutte d'eau gelée

Voici l'évolution d'une gouttelette d'eau de 4 millimètres de diamètre, déposée sur du verre, et refroidie à – 20 °C grâce à du dioxyde de carbone solide. L'expérience, menée par des physiciens de l'université de Twente, aux Pays-Bas, avait pour but de mettre en évidence un phénomène unique pour les liquides : quand elle est totalement gelée – ici au bout de 20 secondes –, l'extrémité d'une goutte d'eau devient pointue (image d), alors qu'elle reste arrondie chez les autres liquides. L'équipe néerlandaise a aussi observé, par la suite, la formation d'un petit arbre de glace sur cette pointe (images e à f). Son explication ? En se solidifiant, elle devient un lieu de concentration privilégié de la vapeur d'eau environnante. O. Enriquez *et al.*, *Phys. Fluids*, sous presse, 2012.

En bref

VOLUMES GLACIAIRES

Si tous les glaciers de montagne fondaient, le niveau des mers s'élèverait en moyenne de 43 centimètres. Pour arriver à cette estimation, deux chercheurs suisses ont calculé le volume et l'épaisseur des glaces de quelque 170 000 glaciers, hors calottes du Groenland et de l'Antarctique, en intégrant les données collectées sur chacun d'eux (superficie, position du sommet et du front glaciaire, etc.). Ils ont ainsi estimé le volume global de ces glaces à près de 170 000 kilomètres cubes.

M. Huss et D. Farinotti, *J. Geophys. Res., 117*, F04010 10 PP., 2012.

PETITES BULLES

L'expansion rapide des bulles de gaz dans un magma est le moteur des éruptions volcaniques. Or, une équipe internationale affirme que l'intensité de cette expansion serait déterminée dans les premières secondes de la croissance des bulles. En laboratoire, les chercheurs ont suivi la formation des bulles gazeuses dans une roche basaltique fondue mélangée à de l'eau à 1 250 °C sous pression. Ils ont mesuré le nombre et la taille des bulles, la vitesse à laquelle la vapeur d'eau s'échappe de l'échantillon, etc.. Ainsi des milliers de petites bulles se forment immédiatement dans chaque centimètre cube. Elles piègent alors le gaz avant de former, dix secondes plus tard, une mousse de grosses bulles dont la résistance chute, alors que les pertes gazeuses augmentent.

D. Baker *et al.*, *Nature Communications 3*, doi/10.1038/ncomms2134, 2012.

sur le web

http://bit.ly/S0pvuW

Le rapport de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse consacré aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau du grand Sud-Est.

Une plaque tectonique fracturée par les séismes indonésiens

SISMOLOGIE

Six mois après les deux violents séismes survenus dans le nord-est de l'océan Indien, les géophysiciens y voient les prémices d'une séparation en deux de la plaque tectonique indo-australienne.

Le 11 avril 2012 restera dans les annales géophysiques. Ce jour-là, à deux heures d'intervalle, deux séismes de magnitude 8,7 et 8,2 ont frappé le nord-est de l'océan Indien, à quelques centaines de kilomètres à l'ouest de Sumatra. « *Un événement très rare et très intéressant* », commente Eric Calais, de l'université Purdue, aux États-Unis. Car, contrairement aux violentes secousses qui se sont produites non loin de là, à Aceh, en 2004 (magnitude 9,2) puis à Nias, en 2005 (magnitude 8,7), les séismes d'avril ne sont pas survenus le long de la fosse de la Sonde, là où la plaque indo-australienne s'enfonce sous Sumatra par subduction.

Coulissage horizontal. Ces séismes sont nés au cœur de la plaque indo-australienne et résultent d'un mouvement de coulissage horizontal (on parle de « séismes de décrochement ») le long d'anciennes failles découpant le plancher océanique. Des géophysiciens dressent un premier bilan de ces séismes pour le moins inhabituels.

En analysant les données enregistrées sur les sismographes européens et japonais, Han Yue, de l'université de Californie à Santa Cruz, et ses collègues ont montré que quatre failles perpendiculaires fonctionnant en réseau sont impliquées dans le premier séisme [1]. La rupture s'est propagée de l'une à l'autre en un peu plus de deux minutes. La réplique qui a suivi s'est produite sur une cinquième faille, située plus au sud. « *Fait rare pour les séismes de décrochement, la rupture concerne la quasi-totalité de l'épaisseur de la plaque soit la croûte océanique et les 30*

CLIMAT *Des étés pluvieux liés au réchauffe*

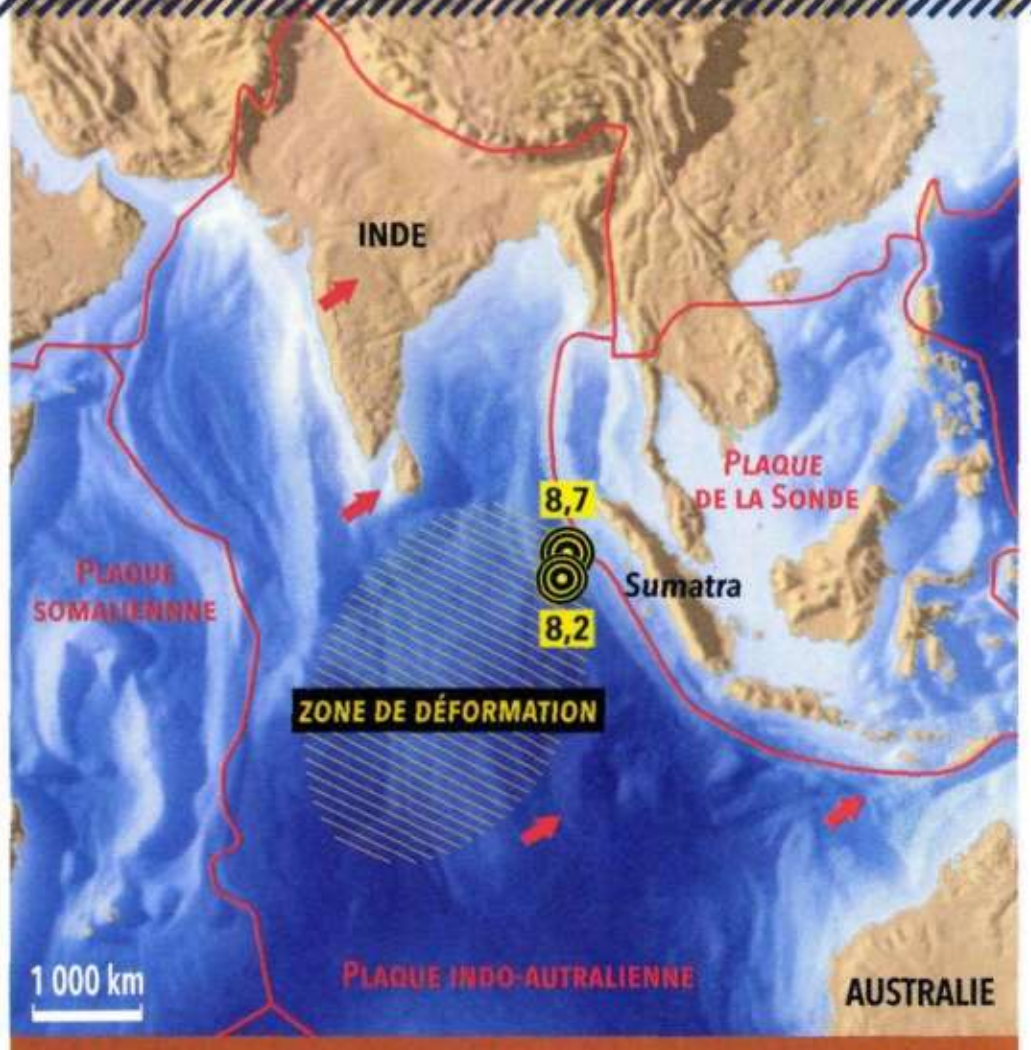
QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Pascal Yiou est chercheur au laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, à Gif-sur-Yvette.

Des climatologues britanniques ont établi un lien entre les étés pluvieux que nous avons connus en Europe du Nord ces dernières années et le réchauffement cyclique des eaux de surface de l'Atlantique Nord [1]. Quelle a été leur démarche ?

P.Y. Les chercheurs se sont intéressés à l'Oscillation Atlantique multidécennale (OAM) qui se caractérise par des variations quasi cycliques de la température des eaux de surface de cette région océanique à l'échelle de plusieurs décennies. Cette oscillation alterne entre deux phases : l'une chaude où les eaux de surface se réchauffent de quelques dixièmes de degré, l'autre froide où elles se refroidissent d'autant. Les chercheurs ont comparé l'évolution des températures durant les trois dernières phases de l'OAM aux conditions climatiques régnant sur l'Europe (température, précipitations, pression atmosphérique). Ils ont ainsi constaté que les deux phases chaudes (de 1931 à 1960 et de 1990 à aujourd'hui) coïncident avec des printemps, des étés et des automnes doux sur l'ensemble de l'Europe. Cela confirme ce que l'on soupçonnait depuis quelque temps : le réchauffement de l'océan superficiel à l'échelle de quelques décennies entraîne une hausse des températures continentales *via* le déplacement des masses d'air d'ouest en est. Ils ont aussi remarqué que ces phases chaudes correspondent également à des étés anormalement pluvieux en Europe du Nord et en Europe centrale, et au contraire plus secs en Europe du Sud. Mais ce lien me semble plus discutable.



© LÉGENDES CARTOGRAPHIE D'APRÈS KEITH KOPER/UNIV. OF UTAH

La plaque indo-australienne se déplace plus rapidement à l'est qu'à l'ouest (flèches rouges) provoquant des tensions qui s'accumulent dans la zone grisée. Ces tensions sont responsables des séismes du 11 avril, dont les épicentres sont figurés par des ronds noirs.

la sismicité mondiale. Fred Pollitz, du Service géologique américain, à Menlo Park, et ses collègues ont comptabilisé cinq fois plus de séismes de magnitude supérieure à 5,5 dans les six jours qui ont suivi [3].

Plus intéressant, les séismes d'avril pourraient annoncer la séparation de la plaque indo-australienne. Cette plaque, qui se déplace vers le nord, porte deux continents bien différents, l'Inde et l'Australie. Or le continent indien, qui butte contre l'Asie, progresse moins vite que le continent australien. Ainsi des tensions s'accumulent au cœur de l'océan Indien depuis plusieurs millions d'années dans une large zone caractérisée par une déformation et une sismicité très diffuses. Et c'est là que se sont produits les récents séismes. Ce processus de séparation mettra vraisemblablement des millions d'années avant d'aboutir. ■ **Fabienne Lemarchand**

[1] H. Yue *et al.*, *Nature, 490,* 245, 2012.
[2] M. Delescluse *et al.*, *Nature, 490,* 240, 2012.
[3] F.F. Pollitz *et al.*, *Nature, 490,* 250, 2012.

à 40 kilomètres du manteau supérieur situés au-dessous », précise Eric Calais. Tout cela implique que de fortes tensions s'étaient accumulées dans la zone. Comme le montrent Matthias Delescluse, de l'École normale supérieure de Paris, et ses collègues, grâce à des simulations numériques, les séismes d'Aceh et de Nias ont vraisemblablement mis la plaque indo-australienne sous tension, d'où ces violentes secousses de 2011 [2]. À leur tour, celles-ci semblent avoir dopé

nent des eaux atlantiques

Pour quelles raisons ?

P.Y. D'abord, les climatologues britanniques utilisent les précipitations saisonnières moyennes. Or les pluies peuvent être tombées massivement en quelques jours ou au contraire de manière plus diffuse sur l'ensemble de l'été. Ce qui n'est pas la même chose en termes météorologiques. Dans un cas, on aura un été sec ponctué d'averses orageuses, dans l'autre un été très arrosé ! Il est donc nécessaire d'étudier la distribution temporelle des pluies estivales. Ensuite, on sait que cette dernière n'est pas sous la seule influence océanique.

Quels sont les autres facteurs ?

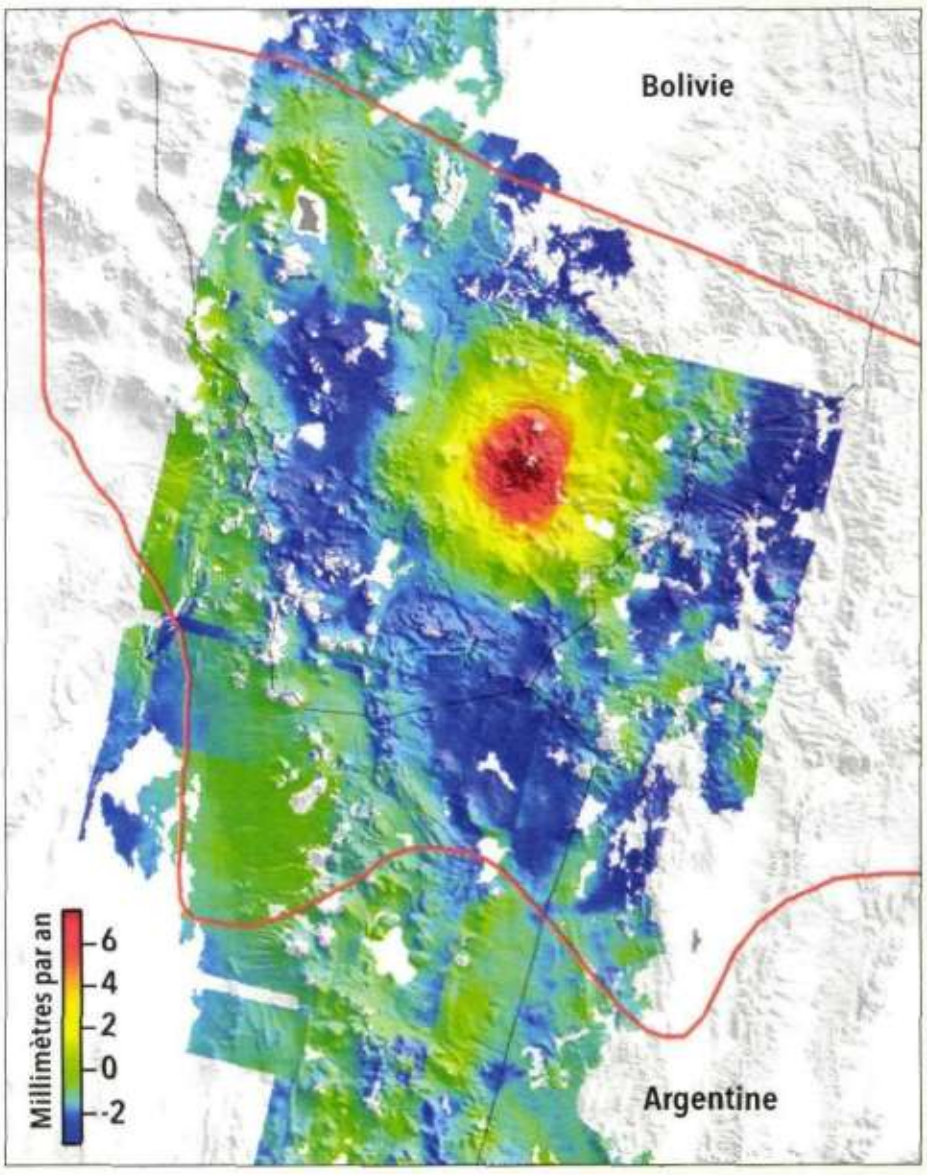
P.Y. Aux échelles saisonnières à multidécennales, le paramètre clé reste l'humidité des sols et leur utilisation. Plusieurs études ont montré que l'évaporation et les précipitations sont contrôlées par les conditions d'occupation des sols. Il ne faut donc pas faire dire à cet article plus de choses qu'il n'en dit. En particulier, il me semble prématuré de vouloir faire de l'Oscillation atlantique multidécennale un outil de prévision météorologique saisonnière, même si elle reste pertinente à une échelle de temps plus longue, de quelques dizaines d'années. ■ **Propos recueillis par F.L.**

[1] R. Sutton et B. Dong, *Nature Geoscience* doi :10.1038/NGEO1595, 2012.

zoom Gonflement andin

Le plateau de l'Altiplano-Puna, dans les Andes centrales, enfle ! Comme on le voit sur cette image réalisée par deux géologues américains grâce aux données satellitaires géodésiques collectées depuis vingt ans, la croûte s'est élevée sur cette période de 1 centimètre par an sur une surface d'environ 100 kilomètres carrés (en rouge) ! Mais ce soulèvement n'annonce pas une prochaine éruption volcanique. Il est simplement dû à la lente accumulation de magma dans les grandes profondeurs de la croûte terrestre. C'est la première fois qu'un tel mouvement est visualisé à cette échelle et sur une durée aussi longue.

Y. Fialko et J. Pearce, *Science, 338,* 250, 2012.



© YURI FIALCO, SIO/UCSD

Mathématiques *Théorie de la complexité*

Comment se mettre d'accord sur un rendez-vous ?

Pour calculer une fonction de manière interactive, par exemple se mettre d'accord sur un rendez-vous entre deux personnes, il faut le plus souvent échanger autant d'information que la taille des données détenues par chacun.

© DR

David Xiao est chargé de recherche au CNRS. Spécialiste de la théorie de la complexité, il mène ses recherches au sein du laboratoire d'informatique algorithmique, fondements et applications de l'université Denis-Diderot. Ses travaux le conduisent notamment à évaluer la complexité des algorithmes, des protocoles de communication et des protocoles cryptographiques.

© ESTATE OF FRANIS BELLO/SPL/COSMOS

Dans les années 1940, Claude Shannon inventa le concept d'entropie, quantité d'information intrinsèque d'une source d'information. La complexité d'information généralise cette notion aux protocoles interactifs.

Pourquoi vous intéressez-vous à la complexité de communication?

D. X. Prenons deux personnes A et B qui veulent se mettre d'accord sur un rendez-vous. Une solution naïve serait que A envoie son agenda à B, qui cherchera une heure où il est disponible. Seulement, cette solution n'est pas économe en termes de communication, car l'agenda peut être un très gros fichier. Ce qu'étudient les informaticiens, c'est justement de savoir si l'on peut faire mieux que cette solution naïve : peut-on s'accorder sur un rendez-vous, mais en communiquant beaucoup moins. On savait déjà que la plupart du temps ce n'est pas possible. De plus, cette solution naïve peut révéler beaucoup d'information sensible sur les agendas de A et de B, et nous voulions savoir si on peut en révéler moins. Nous montrons que la plupart du temps ce n'est pas possible non plus.

Quelles sont les quantités à évaluer pour résoudre ce problème ?

D.X. Avant tout, il faut mesurer le coût de communication. La mesure la plus naturelle est la longueur d'un message. Lorsqu'on envoie « Bonjour » par SMS, le coût est de 7 lettres. Mais je peux aussi écrire « Bjr », que mon interlocuteur comprendra probablement. Bien que le coût de communication ne soit que de 3 lettres, l'information contenue dans le message sera la même que si j'avais écrit « Bonjour ». Ayant remarqué cette distinction, le mathématicien américain Claude Shannon a inventé dans les années 1940 une autre manière de mesurer la quantité d'information transmise, sans se soucier de la façon dont le message est codé : l'entropie. Cette grandeur caractérise beaucoup mieux l'information intrinsèque dans une communication, car elle est indépendante du codage utilisé.

Cette entropie est-elle le bon outil pour répondre à votre questionnement?

D.X. Pas vraiment. Elle mesure certes la quantité d'information transmise d'un expéditeur à un destinataire, mais pas ce que le destinataire répond. Or, pour fixer un rendez-vous, il faut avoir la réponse. De manière plus générale, la nature

sur le web

http://bit.ly/complexCom

Une vidéo d'introduction (les 20 premières minutes) à la complexité de communication (en anglais).

Chronologie

Années 1940 Claude Shannon montre que l'on peut compresser un message jusqu'à son entropie.

Années 1970 Andrew Yao invente le modèle de complexité de communication. **1987** Bala Kalyanasundaram et Georg Schnitger montrent que savoir si deux ensembles sont disjoints ou non requiert une complexité de communication aussi grande que la taille des ensembles concernés. **2001** Amit Chakrabarti et d'autres étudient la complexité d'information et son rapport avec la complexité de communication. **2009** Boaz Barak notamment conjecture que

EXPÉRIENCES DE BELL ET INFORMATION

En mécanique quantique, les expériences de physique des particules destinées à vérifier des formules mathématiques nommées « inégalités de Bell » conduisent habituellement à la conclusion que le monde est quantique : les résultats obtenus ne peuvent pas être expliqués par la physique classique. Toutefois, cette interprétation se heurte à un problème : les inégalités de Bell sont des relations statistiques, et leur vérification repose sur un grand nombre d'expériences. Or, dans les expériences de Bell faites jusqu'à présent, il y a une très forte probabilité que les équipements ne détectent rien et que l'on obtienne donc un résultat « nul ». Ces expériences à résultat nul sont écartées de la statistique des résultats. Si on les incluait, l'ensemble des résultats pourrait être expliqué par des théories classiques. C'est en étudiant ces problèmes dans les expériences de Bell que les chercheurs ont créé les outils qui leur ont permis d'étudier la complexité d'information.

interactive de ces objets peut mener à des économies de communication. À la fin des années 1970, l'informaticien Andrew Yao a formalisé la prise de rendez-vous déjà évoquée, en la remplaçant par le calcul d'une fonction $f(x,y)$ par deux joueurs A et B dont l'un connaît x et l'autre y (les entrées). Il est de plus possible qu'un protocole communique beaucoup de bits mais de telle façon que ces bits ne révèlent presque aucune information sur les entrées x et y de chacun des joueurs. En fait, on peut étendre la définition de l'entropie à ce qu'on appelle l'information mutuelle. Cette quantité mesure ce qu'on nomme la complexité d'information dans les protocoles interactifs. C'est dans ce cadre que nous avons montré que toutes les fonctions dont la complexité de communication est forte ont également une complexité d'information élevée [1]. C'est un pas de plus vers la démonstration de la conjecture proposée en 2009, selon laquelle ces grandeurs sont égales.

Comment avez-vous procédé?

D.X. Notre inspiration a été le calcul quantique sur lequel plusieurs membres de notre équipe travaillaient (voir l'encadré). Une fois cette analogie établie, nous avons déroulé les techniques propres à la théorie de l'information. Un corollaire inattendu de notre résultat est que la communication quantique (où l'on utilise des superpositions d'états quantiques, les qubits, pour communiquer) est bien plus efficace que la communication classique : il existe des problèmes qui nécessiteraient des quantités d'information classique exponentielle par rapport à la quantité d'information quantique qui serait nécessaire. ■ **Propos recueillis par Philippe Pajot**

[1] Iordanis Kerenidis *et al.*, *FOCS*, 2012.

complexité d'information et de communication sont des grandeurs égales.
2012 Iordanis Kerenidis, Sophie Laplante, Virginie Lerays, Jérémie Roland et David Xiao montrent que toutes les fonctions qui montrent une forte complexité de communication ont également une forte complexité d'information.

Les mardis de l'Institut Curie
Débats grand public
SCIENCES, MÉDECINE ET SOCIÉTÉ

Tous les trimestres l'Institut Curie, en partenariat avec *La Recherche,* invite le public à venir réfléchir, débattre et s'informer sur les enjeux sociétaux de la science et de la médecine.

MARDI 18 DÉCEMBRE 2012
À 18H30

Cellules souches : vers une révolution médicale ?

Pouvoir régénérer nos organes à la demande en cas de défaillance : ce rêve pourrait devenir réalité grâce aux cellules souches. Cœur, os, moelle épinière, rétine... plusieurs essais sur l'Homme sont déjà lancés ou en passe de l'être. Plongée au cœur de cette médecine « régénératrice » aux enjeux autant scientifiques, qu'économiques et éthiques.

Débat animé par Jean-Philippe Braly, journaliste pour *La Recherche*

Avec le Pr Nicole **Le Douarin,** Professeur Honoraire au Collège de France et Secrétaire Perpétuelle Honoraire de l'Académie des Sciences, le Pr Claude **Huriet,** président de l'Institut Curie et le Pr Daniel **Louvard,** directeur du Centre de Recherche de l'Institut Curie

Institut Curie
Amphithéâtre Constant-Burg
12 rue Lhomond - Paris 5e

institutCurie
Ensemble, prenons le cancer de vitesse.

En bref

L'ODEUR MATERNELLE DE LA PREMIÈRE TÉTÉE

Chez tous les jeunes mammifères, le réflexe de tétée n'est pas forcément déclenché par des phéromones, hormones propres à l'espèce, comme c'est le cas chez le lapin. Des chercheurs américains ont en effet constaté que les souriceaux nouveau-nés ne réagissent pas aux phéromones des souris femelles. En revanche, ils sont attirés par l'odeur du liquide amniotique de leur mère et pas par celle d'une autre. Ce liquide porte en effet la signature olfactive de la mère. C'est donc déjà *in utero* que les bébés souris acquièrent ce réflexe de tétée.

D. W. Logan *et al.*, *Current Biology*, *22*, 1, 2012.

ÉVOLUTION RAPIDE

Des plantes soumises à une forte pression de sélection peuvent évoluer très vite. À tel point qu'une équipe internationale a pu voir les effets de cette pression de sélection en seulement quelques années. Pendant cinq ans, les biologistes ont cultivé des onagres, herbacées à fleurs jaunes, traitées par un insecticide les protégeant de la chenille d'un papillon. Débarrassée du nuisible, une variété d'onagre a vite prospéré en seulement trois ou quatre générations. Mais elle a perdu génétiquement toute capacité à se défendre naturellement contre la chenille. Ce qui a des conséquences fâcheuses : l'onagre est justement cultivée pour l'huile qui la protège des papillons.

A. Agrawal *et al.*, *Science*, *338*, 113, 2012.

sur le web

http://wallace-online.org/

Un site entièrement dédié au naturaliste britannique Alfred Russel Wallace, à l'origine avec Charles Darwin de la théorie de l'évolution. De nombreux liens vers des manuscrits originaux.

Des ovocytes créés à partir de cellules souches

REPRODUCTION

Pour la première fois, des ovocytes ont été créés *in vitro* à partir de cellules souches embryonnaires. L'exploit ne concerne pour le moment que les souris.

En octobre dernier, les cellules souches embryonnaires étaient doublement à l'honneur. Shinya Yamanaka, de l'université de Kyoto recevait le prix Nobel de médecine pour avoir, en 2007, reprogrammé des cellules adultes humaines en cellules dites iPS : ces dernières ont retrouvé les caractéristiques des cellules souches embryonnaires, capables de se différencier en n'importe quel type de cellule de l'organisme. Or, le même mois, l'équipe de Mitinori Saitou, de la même université, publiait un prolongement à ces travaux. Et quel prolongement ! Il s'agit de la transformation des cellules iPS de souris en ovocytes. En août 2011, la même équipe avait réussi à concevoir de la même manière des spermatozoïdes de souris. Une prouesse vertigineuse si elle pouvait être un jour appliquée à l'homme.

Les chercheurs japonais ont mis en culture des cellules iPS provenant de cellules de peau de souriceaux femelles. Puis ils y ont introduit deux gènes leur permettant de se différencier en cellules germinales primordiales : les cellules à partir desquelles se forment les ovocytes (et, chez le mâle, les spermatozoïdes). Après 3 jours de différenciation, ces dernières ont été mises en culture avec des cellules ovariennes d'embryons de souris. Des amas cellulaires se sont formés, et les chercheurs les ont implantés dans les ovaires de souris adultes. Dans cet environnement, les cellules greffées se sont développées en ovocytes matures.

Souriceaux viables. Ces ovocytes étaient-ils fonctionnels ? Fécondés *in vitro*, ils ont effectivement permis d'obtenir des embryons qui ont été implantés dans l'utérus de mères porteuses. Et 3 souriceaux sont nés trois semaines plus tard. Six mois après leur naissance, ces souris se sont reproduites, et leurs portées sont tout à fait viables. Parallèlement, le même protocole utilisé sur des cellules souches embryonnaires de souris a permis d'obtenir des ovocytes matures puis 5 souriceaux viables.

© KATSUHIKO HAYASHI/DPT OF ANATOMY AND CELL BIOLOGY/KYOTO UNIVERSITY

Ces souris adultes ont été conçues par fécondation *in vitro* de deux ovocytes très particuliers : ils ont été obtenus à partir de cellules iPS, cellules aux propriétés de cellules souches embryonnaires, issues de cellules de peau.

Mitinori Saitou et ses collègues montrent ainsi qu'il est possible de créer des ovocytes fonctionnels à partir de cellules iPS et de cellules souches embryonnaires. Du moins chez la souris. Car on est loin de voir cette percée scientifique permettre à des femmes incapables de fabriquer naturellement des ovocytes d'obtenir ces gamètes à partir de cellules de peau !

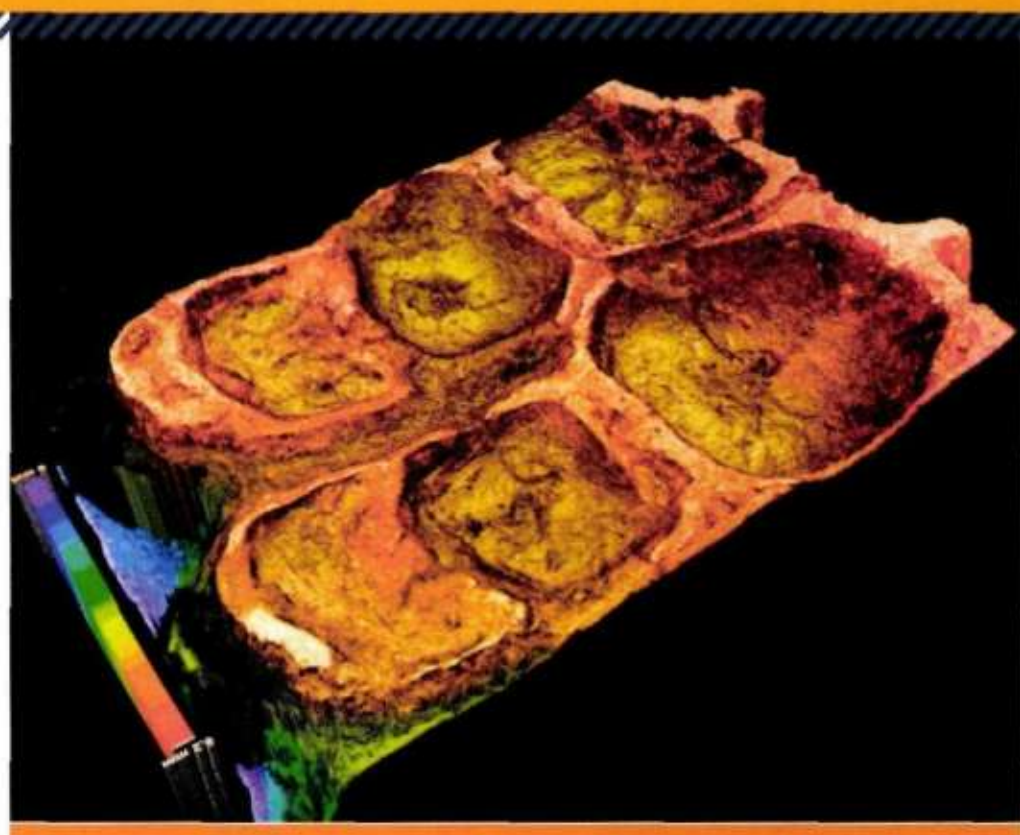
« *Aucune équipe sérieuse n'a encore réussi à obtenir de gamètes à partir de cellules iPS humaines* », signale Stéphane Viville, de l'institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire de Strasbourg. Pour le chercheur, l'intérêt de ces travaux réside avant tout dans la possibilité d'étudier la voie de synthèse des gamètes humains et de mieux comprendre les causes génétiques de l'infertilité.

Au-delà des problèmes techniques, se profilent des questions éthiques. Cette technique pourrait par exemple permettre d'obtenir des spermatozoïdes et des ovocytes à partir... d'un même individu ! On perçoit dès lors la mise en abîme qui en résulterait : la conception d'un être qui aurait un seul et unique parent. Un problème éthique majeur que Shinya Yamanaka avait évoqué dès 2007 et que la loi de bioéthique française a complètement laissé de côté. ■

Olivier Donnars

[1] K. Hayashi *et al.*, *Science*, doi:10.1126/science.1226889, 2012.

DINOSAURES *Des dents plus complexes que celles des mammifères*



© IMAGE COURTESY OF GREGORY M. ERICKSON, PH. D., FLORIDA STATE UNIV.

L'alternance de crêtes coupantes (en rose) et de creux plus tendres (en *jaune*) *caractérisent cette dent d'un « dinosaure à bec de canard »*, ici observée par microscopie confocale à balayage laser.

QUESTIONS À L'EXPERT

© THIERRY HUBIN

Pascal Godefroit est paléontologue à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique à Bruxelles.

D'après une équipe américaine, la dentition de dinosaures herbivores ayant vécu entre 65 et 100 millions d'années était plus complexe que celle des mammifères [1]. Que savait-on de leur mâchoire ?

P.G. Bien avant les herbivores mammifères, les hadrosaures ou « dinosaures à bec de canard » avaient effectivement développé une dentition extraordinaire : plus de 1 000 dents pouvaient s'y aligner et s'empiler les unes sur les autres. Ils mâchaient les végétaux en faisant glisser leurs dents les unes contre les autres, même la gueule fermée. Les dents s'usaient donc rapidement en surface mais elles étaient immédiatement remplacées par celles du dessous. On pensait que la structure de leurs dents était plus complexe que celle d'autres reptiles mais on ne s'attendait pas qu'elle le soit plus que celle des mammifères herbivores.

Comment ces dents ont-elles été étudiées ?

P.G. Gregory Erickson et ses collègues de l'université de Floride ont étudié des dents provenant de 27 mâchoires d'hadrosaures par microtomographie à rayons X, technique qui permet d'en voir la structure interne. Ils ont constaté que la dent n'est pas composée de deux tissus comme chez les reptiles mais de six : l'émail, la dentine, la pulpe dentaire, le ciment et deux autres tissus. Ce qui les rend plus complexes que celles des mammifères.

À quoi ressemblaient-elles ?

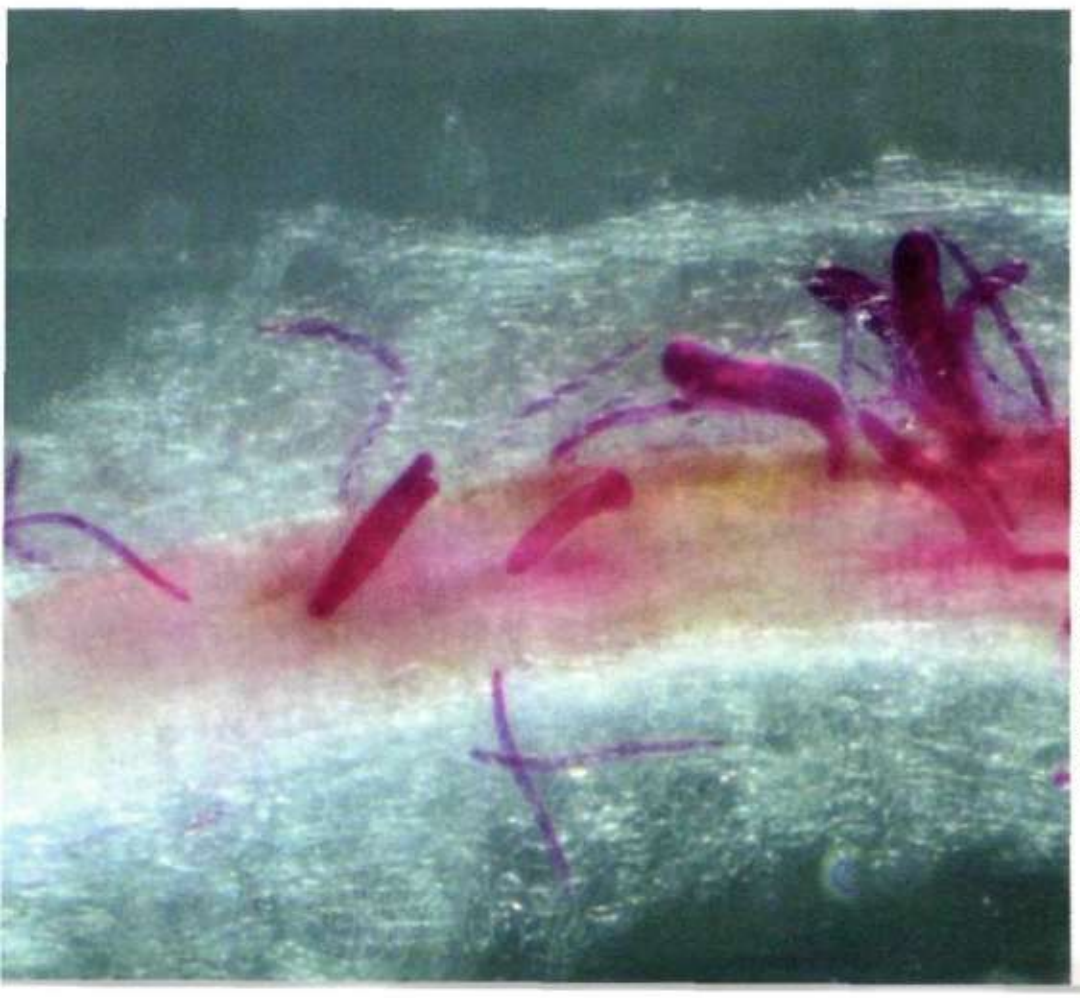
P.G. À cause de l'usure naturelle, toutes avaient une couronne biseautée. La surface de chaque dent était composée de parties émaillées et dures, et de parties composées de matériaux plus tendres comme la dentine. En s'émoussant, les régions tendres formaient des creux, alors que les plus dures formaient des crêtes coupantes. Grâce à cette alternance de cavités et de crêtes, les hadrosaures pouvaient mastiquer plus efficacement, surtout quand ils broyaient des végétaux coriaces.

Les hadrosaures avaient donc un régime alimentaire particulier ?

P.G. Difficile de s'en faire une idée. Mais les chercheurs ont montré que les hadrosaures n'avaient pas tous la même dentition, et donc pas la même alimentation. Dans la famille des *Saurolophinae*, par exemple, les crêtes émaillées étaient mieux développées, et les couronnes dentaires étaient plus coupantes. Alors que chez les *Lambeosaurinae*, les dents formaient de plus vastes cavités, plus aptes à broyer les végétaux. Leur régime alimentaire était donc différent, ce qui permet d'expliquer la coexistence de représentants de ces deux groupes au sein de mêmes écosystèmes : ils n'étaient pas concurrents directs. ■

Propos recueillis par O.D.

[1] G.M. Erickson *et al.*, *Science*, *338*, 98, 2012.



© IMAGE COURTESY OF DAVID COOK

zoom

La multiple résistance du soja

Certaines variétés de soja résistent naturellement à un petit ver, le nématode à kystes (ci-contre, en rose foncé), destructeur pour les autres variétés. On savait déjà que cette capacité de résistance était liée à une région du génome appelée rhg1-b. Mais une équipe américaine de l'université du Wisconsin vient d'aller beaucoup plus loin dans la compréhension du mécanisme. D'abord, elle a montré que, parmi les onze gènes de la région rhg1-b, trois sont indispensables à cette résistance. Puis elle a découvert que, *pour être efficace, ce trio de gènes devait être présent en plusieurs exemplaires*. C'est cette répétition qui confère la résistance.

D. E. Cook *et al.*, *Science*, doi:10.1126/science.1228746, 2012.

Archéologie

En bref

NEANDERTAL BERBÈRE

Certaines populations actuelles d'Afrique du Nord, notamment des Berbères de Tunisie et des Sahraouis, ont un peu de génome néandertalien dans leur ADN, selon une étude internationale. Cette particularité a aussi été mise en évidence en 2010 pour les Européens et Asiatiques actuels. Toutes ces populations descendent donc probablement d'un même groupe d'ancêtres, qui s'est métissé avec des néandertaliens il y a 80 000 à 40 000 ans. Ensuite, entre 40 000 et 20 000 ans, une partie de ce groupe serait arrivée en Afrique du Nord, pour donner naissance aux populations berbères et sahariennes.

F. Sánchez-Quinto *et al.*, *PLoS ONE*, 7, e47765, 2012.

STONEHENGE SCANNÉ

Stonehenge était probablement achevé lors de son érection, selon un relevé au laser de sa surface par deux chercheurs britanniques. Certains archéologues estimaient que le monument, incomplet, n'avait pu être terminé faute de matériau. Les pierres subsistant dans les parties manquantes étaient en effet plus petites que dans les parties complètes. Mais le relevé a montré que ces pierres étaient à l'origine plus grandes : des hommes les ont sans doute cassées pour en prélever des morceaux. L'étude a également identifié plus de 70 petites gravures invisibles à l'œil nu, exécutées environ mille ans après la construction, et représentant des haches.

M. Abbott et H. Anderson-Whymark, *English Heritage Report, 32*, 2012.

sur le web

tinyurl.com/bonampak

Ce site présente les peintures murales du site de Bonampak, témoignage rare sur la vie des Mayas en 790 apr. J.-C.

Des datations au carbone-14 beaucoup plus fiables

TECHNOLOGIE

L'étude d'une carotte de sédiments et de débris végétaux prélevée dans un lac japonais met un terme à une incertitude sur les datations au carbone-14 de la Préhistoire.

La datation au carbone-14 est abondamment employée par les archéologues. Elle se fonde sur le fait qu'un être vivant contient du carbone-14, radioactif, en proportion infime par rapport aux autres formes du carbone. Cette proportion reflète celle de l'atmosphère. À sa mort, le carbone-14 se désintègre. Sa proportion décroît alors selon une loi connue. Mesurer cette proportion permet de dater la mort de l'animal ou de la plante. Une précaution s'impose toutefois, car la proportion de carbone-14 dans l'atmosphère a fluctué au cours de l'histoire. Pour éviter une erreur de datation, il est donc nécessaire d'appliquer une correction, appelée calibration. Jusqu'à aujourd'hui, l'exactitude de cette calibration était loin de faire l'unanimité. Mais ces interrogations viennent d'être en partie levées grâce à l'étude de sédiments issus d'un lac japonais.

© IMAGE COURTESY OF RICHARD STAFF

De 53 000 à 11 000 ans, végétaux et sédiments se sont empilés, année après année, au fond du lac Suigetsu, à quelques centaines de kilomètres à l'ouest de Tokyo. En 2006, les chercheurs ont prélevé une carotte dans ce mille-feuille. À l'aide de microscopes et d'analyses aux rayons X, ils ont repéré chacune de ces couches annuelles, ou estimé leur position quand elles n'étaient pas reconnaissables. Ils ont alors déterminé l'année au

PACIFIQUE *Les statues de l'île de Pâques n'ont*

QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Bertrand Poissonnier est archéologue à l'Inrap et chercheur au laboratoire Traces de Toulouse.

Les statues de l'île de Pâques étaient-elles transportées debout, comme le prétendent aujourd'hui un anthropologue et un archéologue américains ?

B.P. Non, cette hypothèse n'est pas du tout démontrée. Elle s'appuie sur les témoignages oraux des autochtones qui racontaient que les statues « marchaient » pour se rendre à leur destination, des plates-formes en divers points de l'île. Cela avait notamment conduit un ingénieur tchécoslovaque, Pavel Pavel, à tester dans les années 1980 une méthode où, à l'aide de cordes, plusieurs personnes tiraient et faisaient pivoter une statue debout. Les chercheurs américains ont repris la méthode et sont parvenus à déplacer de 100 mètres en 40 minutes une réplique de statue de 4,75 tonnes.

Sur quels arguments se fondent-ils ?

B.P. Selon eux, les statues étaient spécifiquement conçues pour être transportées de cette manière. Les Pascuans façonnaient la statue pour qu'elle penche en avant et ait une base arrondie, ce qui facilite ce type de déplacement. Les deux chercheurs n'ont en effet observé ces particularités que sur les statues couchées le long des routes. Ils estiment que celles-ci ont été abandonnées lors du transport, parce qu'elles étaient tombées, et qu'elles étaient alors trop lourdes pour être redressées. Quand la statue arrivait à destination, en revanche, les Pascuans retaillaient sa base pour qu'elle tienne debout, et lui ajoutaient des yeux et une coiffe.

Pourquoi n'est-ce pas convaincant ?

B.P. Il serait étonnant que les Pascuans aient abandonné si facilement des dizaines de statues si précieuses. En outre, redresser

© IMAGE COURTESY OF CHRISTOPHER BRONK RAMSEY

Dans le lac Suigetsu, au Japon (en haut), une équipe a extrait une carotte de sédiments accumulés entre 53 000 et 11 000 ans. Ils ont ensuite daté des restes organiques (à gauche) prélevés sur cette dernière, ce qui a fourni les corrections à apporter à la datation au carbone-14.

cours de laquelle ces déchets végétaux se sont déposés. Parallèlement, l'équipe a daté un échantillon représentatif de ces 42 000 couches au carbone-14. En faisant correspondre l'année de chaque couche et le résultat de sa datation, l'équipe a déterminé la teneur réelle en carbone-14 et ainsi la correction à apporter à une datation quelconque entre 53 000 et 11 000 ans.

Cernes des arbres. Cette méthode a déjà été utilisée avec les cernes des arbres, mais elle n'a pas permis de remonter au-delà de 12 000 ans. Avant cette date, il fallait utiliser des stalagmites, des sédiments marins ou des coraux. Mais leur teneur en carbone-14 ne reflète pas exactement celle de l'atmosphère. Ce qui n'est pas le cas des sédiments du lac japonais. Ces données seront intégrées à la nouvelle courbe de correction du carbone-14, désormais bien plus fiable, qui sera rendue publique en 2013.

Doit-on s'attendre à un bouleversement des dates de la Préhistoire ? « *Non, mais il va y avoir des changements : quelques périodes seront décalées, contractées ou étirées, de quelques milliers d'années au maximum* », explique Christine Hatté, du laboratoire des sciences du climat et de l'environnement à Gif-sur-Yvette. Pour les époques les plus anciennes, remontant à plus de 30 000 ans, d'importantes incertitudes demeurent. D'une part parce que les couches du lac Suigetsu deviennent très difficiles à discerner, et d'autre part parce que la teneur en carbone-14 de l'atmosphère a fluctué rapidement pendant cette période.

Les dates documentant par exemple la disparition de l'homme de Neandertal ou l'arrivée de l'homme moderne en Europe restent donc incertaines. « *Mais ces incertitudes vont diminuer, à mesure que de plus en plus de couches de la carotte de Suigetsu seront datées,* indique Marie-Josée Nadeau, du laboratoire Leibniz de Kiel, en Allemagne. *C'est d'ores et déjà un grand pas en avant.* » ■

Nicolas Constans

pas été transportées debout

de telles charges ne présente pas de difficultés particulières : avec des leviers en bois, des cales et des cordes, quelques dizaines de personnes suffisent. Au cours de ma carrière, j'ai relevé ainsi 150 mégalithes de masse parfois bien supérieure. Enfin, l'équipe américaine a utilisé une réplique en béton, alors que les vraies statues sont en tuf, une roche fragile. Lors des tests de Pavel avec une vraie statue, les dommages occasionnés sur la base ont été considérables en seulement quelques mètres. Au bout de quelques kilomètres, l'usure rendra le déplacement de la statue complètement aléatoire, ou les tensions mécaniques la briseront.

Alors comment déplaçaient-ils les statues ?

B.P. Vraisemblablement couchées, sur des rondins de bois qui roulaient. C'est de cette manière que dans pratiquement toutes les cultures maritimes, et notamment en Polynésie, les hommes hissent leurs bateaux sur le haut de la plage. Les palmiers qui recouvraient alors l'île sont largement assez solides pour supporter le poids des statues. De même, la concavité des routes de l'île ne gêne en rien la rotation des rondins, car ces derniers peuvent rouler sur des bois posés dans l'axe de la route, ce qui évite aussi qu'ils soient bloqués par les aspérités du sol. ■

Propos recueillis par N.C.

[1] C. P. Lipo *et al.*, *JAS*, doi:10.1016/j.jas.2012.09.029, 2012.

© 2012 ELSEVIER LTD. ALL RIGHTS RESERVED/ ETSUO UCHIDA, WASEDA UNIVERSITY

zoom Carrières d'Angkor

Cette petite carrière de grès a été exploitée lors de la construction d'Angkor. Elle vient d'être découverte, ainsi qu'une cinquantaine d'autres par deux chercheurs japonais. Elles s'ajoutent aux quelques dizaines d'autres déjà connues. Grâce à des analyses géologiques sur les monuments et les carrières, les chercheurs ont pu classer ces dernières en quatre groupes correspondant à différentes périodes de construction d'Angkor. En outre, remarquant une ligne qui semblait connecter toutes ces carrières sur des images satellite, ils se sont rendus sur le terrain. Ils ont ainsi identifié une suite de canaux et de rivières menant à Angkor, qui était probablement le moyen de transport par lequel transitaient les blocs de grès nécessaires à la construction de la cité khmère. Cette voie représente en effet la route la plus courte pour les y amener.

E. Uchida et I. Shimoda, *JAS*, doi:10.1016/j.jas.2012.09.036, 2012.

En bref

MATIÈRE BLANCHE ET LECTURE

La manière dont se développe la matière blanche chez un enfant permet de prédire ses aptitudes à apprendre à lire. Pour le montrer, des chercheurs américains ont testé l'évolution des compétences en lecture d'enfants de 7 à 12 ans sur trois années. Ils leur ont fait passer au moins trois IRM à intervalles réguliers. Leur objectif était de visualiser les changements dans les fibres de matière blanche qui relient entre eux les centres du langage, et dans celles qui connectent les centres du langage avec les zones traitant l'information visuelle. Résultat : chez les meilleurs lecteurs, le nombre de fibres a augmenté dans l'hémisphère gauche, alors que chez les moins bons lecteurs il a diminué.

J. D. Yeatman *et al.*, *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1206792109, 2012.

CANNABIS ET SCHIZOPHRÉNIE

Il existerait des facteurs génétiques communs à la dépendance au cannabis et à la schizophrénie, selon une étude américaine. Les auteurs ont analysé les données génétiques de familles européennes et afro-américaines dans lesquelles il y avait des cas de dépendance au cannabis. Ils ont identifié un gène associé à cette dépendance, nommé NRG1, qui code une protéine impliquée dans le développement et le fonctionnement des synapses. Or ce gène est connu pour être un facteur de prédisposition à la schizophrénie.

S. Han *et al.*, *Biol. Psy.*, *72*, 637, 2012.

sur le web

www.france.ekbom.fr
Le site de l'association France Ekbom informe sur le trouble neurologique de Willis Ekbom, qui cause un besoin irrépressible de bouger les jambes, et touche 8,5 % de la population française.

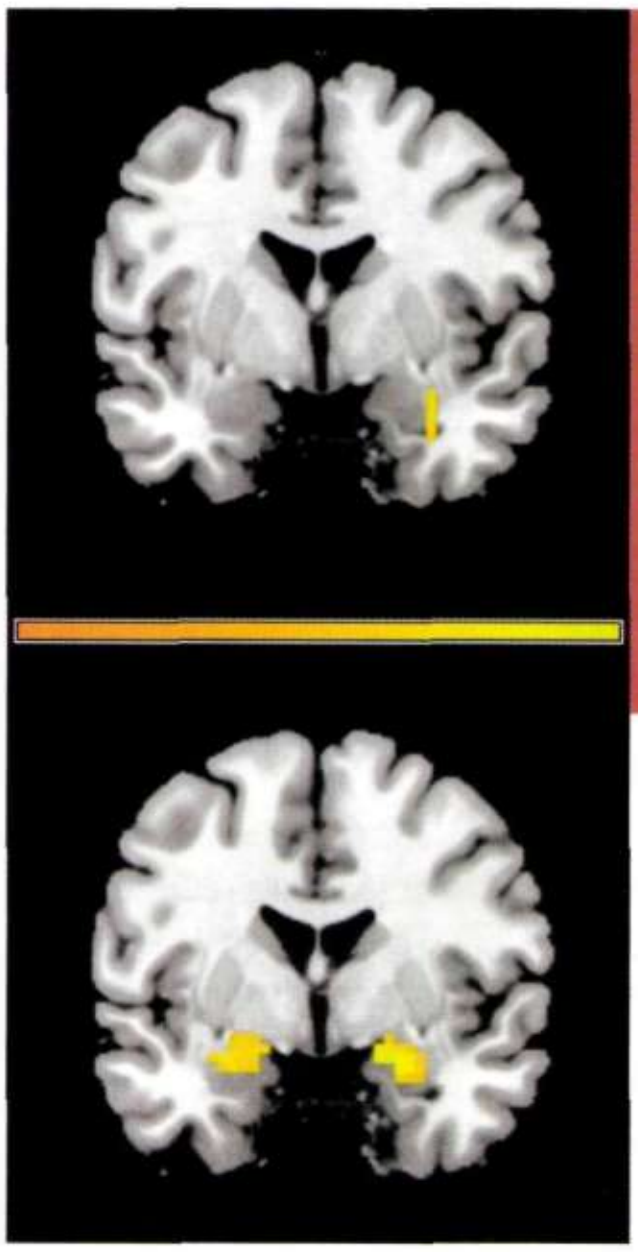
Supprimer la peur de notre m

NEUROSCIENCES

Une équipe suédoise est parvenue à effacer la trace cérébrale d'un souvenir de peur chez des volontaires humains.

Les victimes de guerres pourront-elles un jour se débarrasser des souvenirs traumatisants qui hantent leur esprit ? Pour arriver à ce résultat, il faudrait pouvoir éliminer les traces de ces souvenirs dans leur cerveau. De nombreuses équipes ont tenté à cet effet d'agir sur un processus cérébral dit de « reconsolidation », qui se déroule lorsque nous nous remémorons un souvenir.

En effet, on sait depuis les années 1960 qu'au moment où nous nous rappelons un souvenir ce dernier peut devenir instable. Il peut alors être perturbé par la prise de substances qui modifient les mécanismes moléculaires de la mémoire, ou par un changement de comportement. C'est cette seconde voie qu'ont explorée des neuroscientifiques de l'université d'Uppsala, en Suède : en présentant à de nombreuses reprises une image liée à un souvenir de peur pendant la phase de reconsolidation, ils sont parvenus à effacer la trace cérébrale de ce souvenir [1].



Après une exposition à une situation effrayante, le cerveau visualisé par IRM d'une personne ayant suivi une séance d'extinction de ce souvenir montre une très faible activation de l'amygdale (en haut), zone cérébrale de la peur (en jaune). Au contraire, l'IRM d'un sujet n'ayant pas suivi cet effacement de la mémoire montre une amygdale bien activée (en bas). © FROM *SCIENCE*, *VOL.337*, 1550, 2012, REPRINTED WITH PERMISSION FROM AAAS

Décharge électrique. Pour mener leur expérience, qui s'est déroulée sur plusieurs jours, Thomas Agren et ses collègues ont sélectionné 22 volontaires. Le premier jour, ils leur ont demandé de regarder sur un écran une image neutre. Au moment où l'image s'est affichée, ils leur ont envoyé une décharge électrique afin de créer chez eux un sentiment de peur. Puis, le lendemain, ils leur ont à nouveau présenté cette image pour qu'ils se remémorent ce sentiment de peur.

Ils ont alors séparé les volontaires en deux groupes. Le premier groupe a bénéficié d'une séance d'« extinction » du souvenir pendant les dix minutes suivant la présentation de l'image, c'est-à-dire pendant la phase où le souvenir est normalement

zoom

Sur la trace des neurones

Ces cellules pyramidales (en vert) – type particulier de neurones – sont ici observées chez une souris vivante, dans la zone du cortex qui s'active lorsqu'on touche ses moustaches. Pour obtenir cette image, des chercheurs anglais et américains ont utilisé un gène codant une protéine particulière : elle devient fluorescente au contact des ions calcium qui affluent dans les neurones quand ces derniers s'activent. Ils ont introduit ce gène chez des souris génétiquement modifiées de sorte qu'il s'exprime uniquement dans les cellules pyramidales. Puis ils ont observé ces cellules, rendues fluorescentes, avec un microscope à haute résolution. Grâce à cette nouvelle méthode d'imagerie, il sera possible d'étudier *in vivo* les connexions entre différents types de neurones lors de comportements spécifiques, par exemple la détection d'une odeur.

Q. Chen *et al.*, *Neuron*, *76*, 297, 2012.

moire

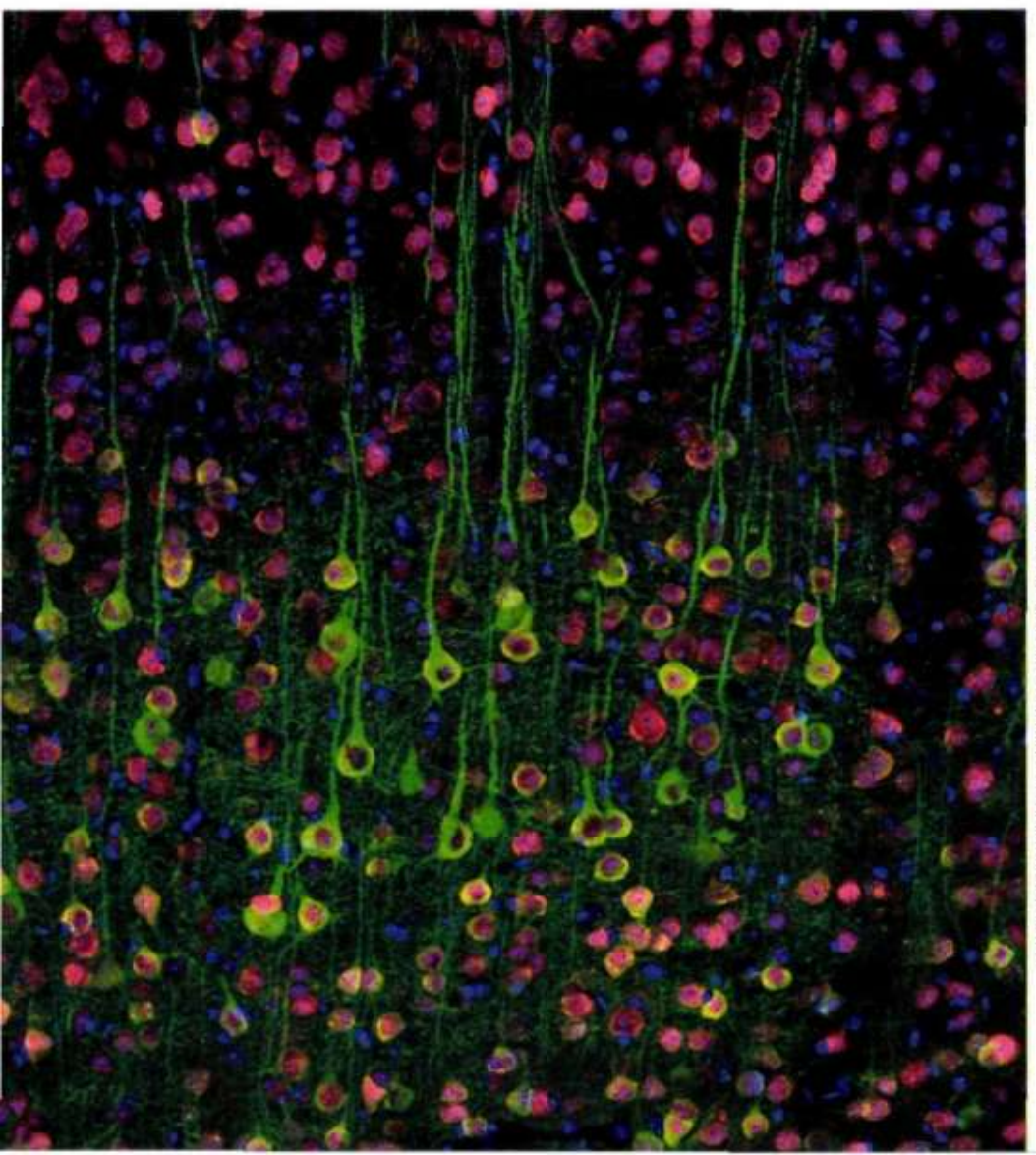
reconsolidé : l'image était diffusée à de très nombreuses reprises, sans choc électrique associé. Le second groupe a également bénéficié de cette séance, mais six heures après le rappel du souvenir, alors que le cerveau avait déjà eu le temps de mettre en place les processus de reconsolidation.

Transpiration. Pendant l'expérience, une évaluation objective de la peur était réalisée en mesurant la conductance de la peau. En effet, lorsque nous avons peur, nous transpirons davantage, et cela modifie les propriétés électriques de l'épiderme. Résultat : après la séance d'extinction, la mesure de la conductance de la peau a révélé que les sujets du premier groupe ne ressentaient plus de peur lorsqu'on leur présentait l'image, contrairement à ceux du second groupe.

Les chercheurs ont ensuite placé les sujets sous IRM fonctionnelle et leur ont à nouveau présenté l'image. Or ils ont observé que chez les sujets du premier groupe, une zone impliquée dans les souvenirs de peur, l'amygdale, s'activait très faiblement. En revanche, elle s'activait beaucoup plus chez les sujets du second groupe, qui avaient conservé le souvenir de peur.

« Cette étude montre pour la première fois qu'une séance d'extinction d'un souvenir supprime sa trace cérébrale, explique Serge Laroche, de l'université Paris-Sud. *Cependant, il faudrait tester les sujets à plus long terme pour s'assurer que le souvenir n'est pas ensuite récupéré. Par ailleurs, le sentiment de peur créé dans l'expérience est certainement beaucoup moins fort qu'une peur conduisant à un stress post-traumatique. L'application thérapeutique de cette technique nécessiterait donc de plus amples investigations. »* ■ **Jacques Abadie**

[1] T. Agren *et al.*, *Science*, *337*, 1550, 2012.



© QIAN CHEN AND GUOPING FENG/MCGOVERN INSTITUTE - MIT

En bref

DÉPRESSION ET DISCRIMINATION

Plus de trois quarts des personnes souffrant de dépression se sentent discriminées en raison de leur maladie. Telle est la conclusion d'une enquête internationale menée auprès de 1 082 personnes traitées pour dépression dans 35 pays. Pour 37 % des dépressifs, la peur d'être stigmatisé est un frein pour entrer en relation avec les autres. Et un quart d'entre eux ont déjà renoncé au moins une fois à rechercher un emploi à cause de leur maladie. Cependant, près de la moitié des personnes exprimant ces craintes disent ne pas avoir subi de discriminations dans ces situations. Reste que 71 % des personnes interrogées souhaitent cacher leur dépression par crainte du regard des autres.

A. Lasalvia *et al.*, *The Lancet*, doi:10.1016/S0140-6736(12)61379-8 2012.

sur le web

www.tinyurl.com/ethnographie-strasbourg

La collection ethnographique de l'université de Strasbourg est riche de 350 objets d'origine africaine qui peuvent être visualisés en ligne.

Des tribunaux indigènes viennent à bout des guerres

ETHNOLOGIE

Chez une ethnie de Papouasie-Nouvelle-Guinée, le recours à des tribunaux inspirés des traditions indigènes a mis fin à des guerres meurtrières.

Depuis vingt ans, des conflits meurtriers éclatent régulièrement dans l'ethnie Enga, grand groupe linguistique vivant dans une zone montagneuse de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Cette flambée de violence s'explique par l'utilisation, à partir des années 1990, des armes à feu dans les guerres entre communautés. L'ethnie Enga est en effet organisée en clans regroupant chacun 500 à 1 000 personnes, qui traditionnellement réglaient leurs différends en s'affrontant avec des arcs et des flèches. L'arrivée des armes automatiques a entraîné une hausse importante de la mortalité. Mais depuis 2005, le nombre de victimes a diminué. Selon une ethnologue américaine et son collègue papou, cette baisse de la violence est due à la mise en place de tribunaux locaux qui permettent de régler les conflits de façon pacifique [1].

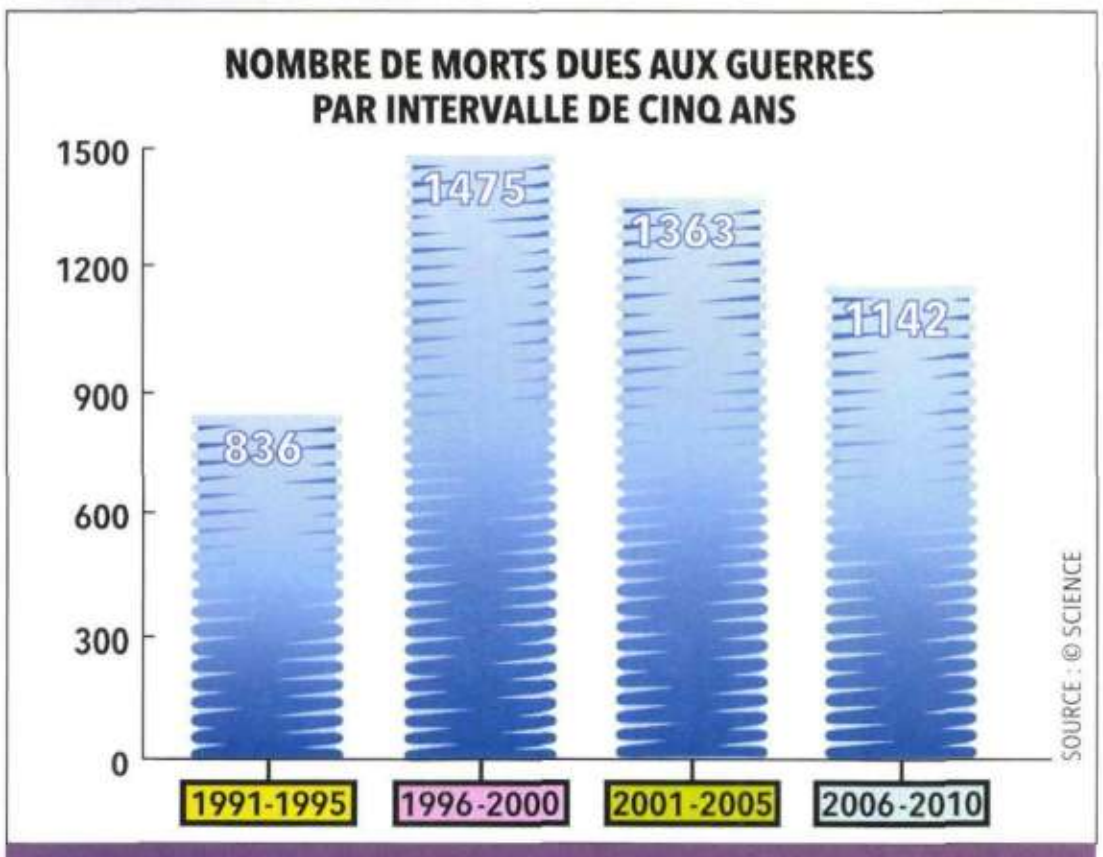
Conflits coûteux. Polly Wiessner et Nitze Pupu ont recueilli les données sur les conflits opposant les clans Enga entre 1991 et 2010. Pour chaque guerre, ils ont enregistré les dates de début et de fin, le lieu des combats, le motif, le nombre de blessés et de morts, etc. Ils ont ainsi établi qu'entre 1991 et 2010 plus de 500 guerres ont éclaté entre communautés Enga, tuant près de 4 800 personnes, soit environ 1 % de la population. Le nombre de guerres a augmenté jusqu'en 2009, puis a diminué en 2010. Cependant, dès 2005, la durée des guerres et le nombre de victimes par guerre a baissé de façon régulière : entre 1991 et 1995, la proportion de guerres causant entre 1 à 5 morts était de seulement 23 %, alors qu'entre 2006 et 2010 elle a été de 74 %.

L'ethnie Enga a perdu, en dix-neuf ans, près de 1 % de sa population dans des conflits claniques

Afin de savoir pourquoi la mortalité avait baissé à partir du milieu des années 2000, les chercheurs ont interrogé entre 2005 et 2011 plus de 300 personnes ayant vécu ces conflits de différents points de vue : combattants, chefs de village, chefs religieux ou juges locaux. Il ressort de ces entretiens que ces conflits appauvrissaient les Enga. En d'autres termes, les dégâts provoqués par les guerres étaient plus importants que les bénéfices qu'ils pouvaient en retirer. Ainsi, à partir de 2005, ils ont eu davantage recours à des tribunaux indigènes, qui permettent de régler des conflits sans violence : au lieu d'être envoyé en prison, le condamné doit apporter une compensation à sa victime, sous la forme d'argent ou de cochons.

« *Dans de précédents travaux, Polly Wiessner a montré que depuis trois cents ans la société Enga pratique la compensation pour stopper des guerres,* explique Pierre Lemonnier, ethnologue à l'université de Provence. *C'est une pratique très rare à l'échelle de la planète. Le recours à des tribunaux indigènes à partir du milieu des années 2000 signe un retour à cette tradition.* » Selon les auteurs de l'étude, cela permettrait de mieux comprendre comment les hommes parvenaient à établir la paix lorsqu'ils vivaient dans de petites sociétés de cultivateurs. Mais pour Pierre Lemonnier : « *Il faut se garder de généraliser à partir du cas Enga, qui est tout à fait exceptionnel.* » ■ **Jacques Abadie**

[1] P. Wiessner et N. Pupu, *Science, 337,* 1651, 2012.



Le nombre de morts chez les Enga a connu une hausse importante avec l'arrivée des armes à feu dans les années 1990. Puis il a diminué dans les années 2000, surtout depuis 2005, grâce au recours fréquent aux tribunaux traditionnels.

ATELIERS DE FORMATION 2013

Instituts thématiques

Inserm

Institut national de la santé et de la recherche médicale

220 Méthodes avancées en biologie structurale intégrée de rotéines membranaires

ate limite d'inscription : 25 janvier 2013

rganisateurs : Eva Pebay-Peyroula (Institut de Biologie Structurale, renoble), Daniel Picot (Institut de Biologie Physico-Chimique, Paris), hristophe Moreau (Institut de Biologie Structurale, Grenoble)

Phase I - Bordeaux

e point sur… 8-10 Avril 2013

onférenciers pressentis : Frank Berhard (Allemagne), Vadim Cherezov (USA), Chris hipot (France), Pierre-Jean Corringer (France), Christine Ebel (France), Jean-Luc opot (France), Alexey Rak (France), Stéphanie Ravaud (France), Chris Tate (UK), lichel Vivaudou (France), Horst Vogel (Suisse), Gerhard Wagner (USA), Christine iegler (Allemagne)

Phase II – Grenoble, Paris

laîtrise technique : entre le 27 mai et le 15 juin 2013

221 Modifications ciblées du génome à l'aide de protéines ALEs

ate limite d'inscription : 11 Février 2013

rganisateurs : Jean-Paul Concordet (Institut Cochin, Paris), Carine iiovannangeli (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris)

Phase I - Bordeaux

e point sur… 24-26 Avril 2013

onférenciers pressentis : Ignacio Anegon (France), Ulla Bonas (Allemagne), Dana arroll (USA), Toni Cathomen (Allemagne), Philippe Duchateau (France), Zoltan ics (Allemagne), Maria Jasin (USA), Keith Joung (USA), Bernard Lopez (France), acques Pouyssegur (France), Barry Stoddard (USA), Fyodor Urnov (USA), Bo hang (China)

Phase II – Paris

laîtrise technique : Juin ou Juillet 2013

222 Méthodes statistiques et nouvelles stratégies de echerche de gènes impliqués dans les maladies communes i l'ère du séquençage haut débit

late limite d'inscription : 15 mars 2013

rganisateurs : Philippe Broët (Inserm U669, Hôpital Paul Brousse, illejuif), Emmanuelle Génin (Inserm U1078, CHU Brest, UBO, Brest), nne-Louise Leutenegger (Inserm U946, Univ Paris Diderot, Paris)

Phase I - Bordeaux

e point sur… 27-29 mai 2013

onférenciers pressentis : Alexandre Alcais (France), Ines Barroso (UK), Catherine ourgain (France), Françoise Clerget (France), David Conti (USA), Jean-François eleuze (France), Florence Demenais-Diao (France), Josée Dupuis (USA), Daniel autheret (France), Jean-Pierre Hugot (France), Rémi Kazma (USA), Dan Nicolae USA), Richard Redon (France), Anne Rovelet-Lecruz (France), David-Alexandre regouet (France), Eleftheria Zeggini (UK).

Phase II – Villejuif

laîtrise technique : 3-4 juin 2013

223 Evaluation des modèles prédictifs : adéquation aux observations et valeur prédictive

Date limite d'inscription : 15 mars 2013

Organisateurs : John O'Quigley (UPMC, Paris), Pascale Tubert-Bitter (INSERM, Villejuif), Vivian Viallon (Univ. Lyon 1/IFSTTAR, Lyon)

Phase I – Bordeaux

Le point sur… 29-31 mai 2013

Conférenciers pressentis : Jacques Bénichou (France), Philippe Broët (France), Tianxi Cai (USA), Cécile Chauvel (France), Thomas Gerds (Danemark), Hélène Jacqmin-Gadda (France), Héléna Marti-Soler (Suisse), France Mentré (France), Martina Muller (Allemagne), Babak Oskooei (UK), John O'Quigley (France), Michael Pencina (USA), Michael Schemper (Autriche), David Tregouet (France), Vivian Viallon (France)

Phase II – Paris

Maîtrise technique : 5-7 juin 2013

224 Domaines membranaires : de la complexité lipidique aux fonctions biologiques

Date limite d'inscription : 21 juin 2013

Organisateurs : Ludger Johannes (Institut Curie, Paris, France), Kai Simons (Max Planck Institute, Dresden, Germany)

Phase I – Bordeaux

Le point sur… 25-27 septembre 2013

Conférenciers pressentis : Bruno Antonny (France), Patricia Bassereau (France), Christian Eggeling (Allemagne), Katharina Gaus (Australie), Hai-Tao He (France), John Hjort Ipsen (Danemark), Satyajit Jitu Mayor (Inde), Robert G. Parton (Australie), Howard Riezman (Suisse), Eric Rubinstein (France), Laurence Salomé (France), Sarah Veatch (USA), Chiara Zurzolo (France)

Phase II – Paris

Maîtrise technique : Novembre 2013

225 Avancées technologiques en cytométrie: applications et perspectives en recherche fondamentale et clinique

Date limite d'inscription : 21 juin 2013

Organisateurs : Jacques Nunes (CRCM, France), Antonio Cosma (CEA, France), Stéphane Mancini (CIML, France), Hervé Luche (CIPHE, France)

Phase I – Bordeaux

Le point sur… 1-3 Octobre 2013

Conférenciers pressentis : Mario Roederer (USA), Francis Lacombe (France), J. Paul Robinson (USA), Juan Flores-Montero (Espagne), Ryan R. Brinkman (Canada), Rodolphe Thiebaut (France), Andrea Cossarizza (Italie), Scott Tanner (Canada), Jonathan Irish (USA), Samuel Granjeaud (France), Garry Nolan (USA), Attila Tarnok (Allemagne), Philippe Bousso (France), Michael Gerner (USA), Marie Follo (Allemagne), William Telford (USA)

Phase II – Fontenay-aux-Roses, Marseille

Maîtrise technique : Octobre 2013

Places limitées à 80 participants par atelier (phase I)

Renseignements et inscriptions
Ateliers de formation Inserm

101, rue de Tolbiac
75654 Paris Cedex 13 - France
Tel. : 33 (0)1 44 23 62 04 / 62 03 - Fax : 33 (0)1 44 23 62 93
Email : ateliers@inserm.fr

En bref

VENIN ANTIDOULEUR

En étudiant le venin du serpent « mamba noir », une équipe française a fait une découverte surprenante : il contient des protéines analgésiques. Les chercheurs ont injecté à des souris ces protéines baptisées « mambalgines ». Ainsi elles se sont révélées aussi efficaces que la morphine pour calmer la douleur, avec moins d'effets secondaires. Les mambalgines inhibent des canaux ioniques qu'utilisent certains neurones pour transmettre le message douloureux. Testées sur des cellules humaines, elles bloquent également certains de ces canaux. Reste à prouver leur efficacité *in vivo* sur l'homme.

S. Diochot *et al.*, *Nature*, doi:10.1038/nature11494, 2012.

L'OBÉSITÉ RALENTIT

En 2012, la France compterait plus de 6,9 millions d'obèses, soit 15 % de la population adulte. C'est 3,4 % de plus qu'en 2009… mais nettement moins que les hausses constatées tous les trois ans depuis 1997 (de 10,1 % à 18,8 %). Toutefois, il existe de fortes disparités. Ainsi, certaines catégories de la population sont davantage touchées par le phénomène, les femmes, les 18-24 ans et les personnes se déclarant endettées. Ces nouvelles données sont issues de la sixième enquête épidémiologique « ObÉpi-Roche », menée entre janvier et mars sur plus de 25 000 personnes représentatives de la population adulte française.

www.tinyurl.com/Obepi-Roche

sur le web

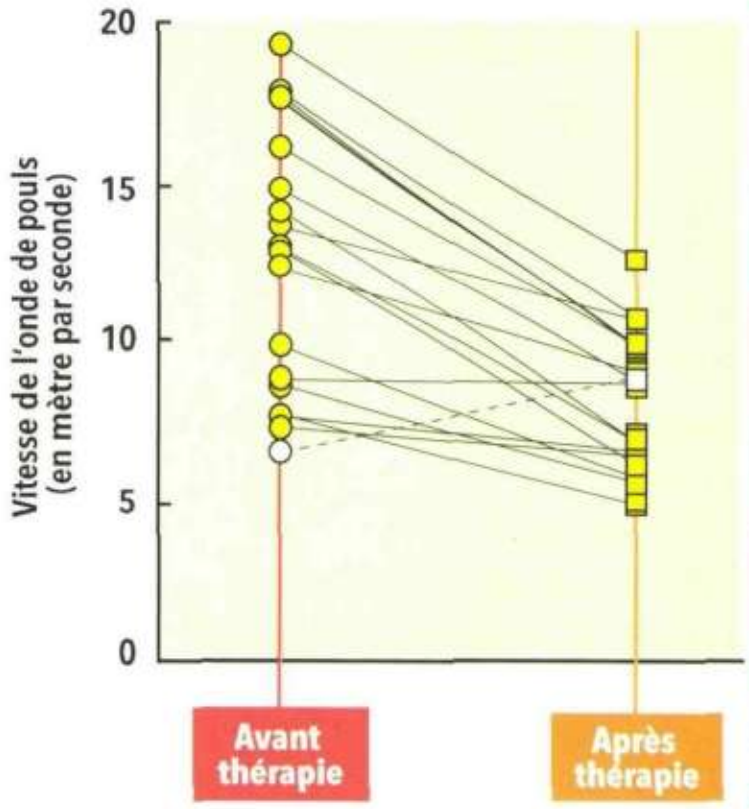
www.syndrome-lowe.org

L'Association du syndrome de Lowe met en ligne un nouveau site pour faire connaître cette maladie rare qui endommage le cerveau, les yeux et les reins. On y trouve des informations sur les recherches en cours.

Vers un traitement contre la

MALADIE ORPHELINE

Des enfants atteints de progéria, maladie qui provoque un vieillissement prématuré, ont vu leur état cardio-vasculaire s'améliorer grâce à un nouveau traitement.



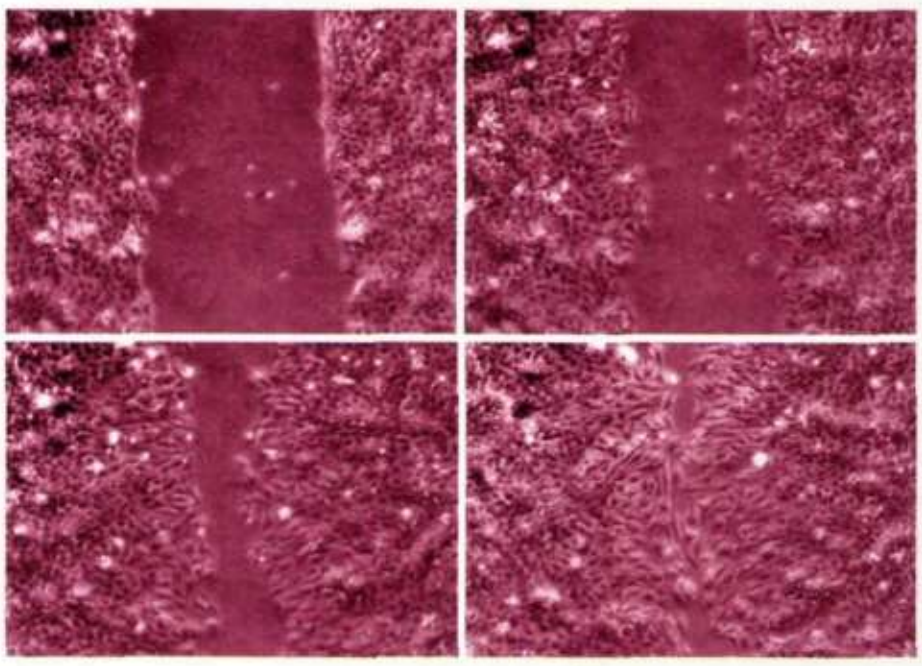
La vitesse de l'onde de pouls, synonyme de rigidité des artères, a été mesurée chez 18 enfants atteints de progéria, avant (ronds) et après traitement par le lonafarnib (carrés). Elle diminue pour 17 d'entre eux, montrant une amélioration de leur état cardio-vasculaire.
SOURCE : *PNAS*

Croissance et prise de poids ralenties, troubles cardio-vasculaires, problèmes articulaires… et décès autour de l'âge de 13 ans. Tel est le destin tragique des enfants souffrant de progéria, une maladie génétique extrêmement rare qui provoque un vieillissement prématuré. Pour la première fois, à l'hôpital pour enfants de Boston, un médicament a été testé sur 25 patients, soit 75 % des cas identifiés à l'échelle mondiale au début de l'étude, en 2007 [1].

Le lonafarnib est un anticancéreux que le laboratoire Schering-Plough avait abandonné pour manque d'efficacité. « *Mais testé sur des cellules d'enfants souffrant de progéria, puis sur des souris mimant la pathologie, il avait montré une certaine efficacité,* explique Leslie Gordon, coauteure de l'étude et mère d'un enfant enrôlé dans l'essai. Il inhibe en effet une enzyme impliquée dans la maturation de la « progérine », protéine mutée et toxique qui s'accumule dans les cellules des malades, et à l'origine de ce vieillissement prématuré.

Pendant deux ans, ces 25 enfants ont reçu jusqu'à 150 milligrammes de lonafarnib par mètre carré de surface corporelle, deux fois par jour. Les résultats les plus prometteurs concernent l'état cardio-vasculaire des malades. « *En effet, la rigidité des artères a diminué chez 17 enfants, d'au moins 35 % pour neuf d'entre eux* », annonce Leslie Gordon. Pour Annachiara De Sandre-Giovannoli, spécialiste de la progéria au sein d'une des rares autres équipes dans le monde travaillant sur cette pathologie à l'hôpital d'enfants la Timone, à Marseille : « *Bien que cela ne soit pas encore démontré, cela laisse espérer un risque réduit d'accident vasculaire cérébral et d'infarctus du myocarde, les deux principales causes de décès des enfants progéria.* »

Prise de poids. Mais l'objectif principal que s'était fixé l'équipe américaine était d'augmenter d'au moins 50 % la vitesse de prise de poids annuelle des malades. « *Cet objectif a été atteint pour neuf volontaires* », indique Leslie Gordon. « *Toutefois, des travaux montrent que cet objectif peut également être atteint, voire dépassé, chez*



© MAXIME DEFORET, MARIA CARLA PARRINI/INSTITUT CURIE

progéria ?

des enfants progéria non traités [2] », tempère Annachiara de Sandre-Giovannoli. En revanche, cette vitesse de prise de poids n'a pas bougé pour 10 des 25 enfants… et a même chuté d'au moins 50 % pour les 6 derniers. Le lonafarnib ne réduirait-il pas suffisamment la toxicité de la progérine ? C'est en tout cas ce que suggère une étude menée sur la souris en 2008 : « *Celle-ci montre que ce type de médicaments active une autre enzyme qui rend également la progérine toxique* [3] », explique Annachiara De Sandre-Giovannoli.

Depuis 2009, sur 44 enfants souffrant de progéria, l'équipe américaine réalise un nouvel essai avec le lonafarnib, couplé avec deux autres médicaments actuellement testés sur 12 autres malades par la chercheuse marseillaise et ses collègues. ■ **Jean-Philippe Braly**

[1] L. B. Gordon *et al.*, *PNAS*, 109, 16 666, 2012.

[2] L.B. Gordon *et al.*, *Pediatrics, 120*, 824, 2007 ; M.A Merideth *et al.*, *NEJM, 358*, 592, 2008.

[3] I. Varela *et al.*, *Nature Medicine, 14*, 767, 2008.

NEUROLOGIE *Les benzodiazépines favoriseraient la maladie d'Alzheimer*

QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Bernard Bégaud est pharmaco-épidémiologiste à l'université de Bordeaux-Segalen.

Vous avez dirigé une étude révélant qu'une prise prolongée de benzodiazépines – des médicaments contre l'anxiété, la dépression et l'insomnie – augmenterait de 50 % le risque de démence chez les plus de 65 ans. Comment êtes-vous parvenu à ce résultat ?

B.B. Notre analyse principale a porté sur 1 063 volontaires d'au moins 65 ans, indemnes de démence et ne consommant pas de benzodiazépines. Puis nous les avons suivis pendant quinze ans. À partir de la cinquième année de suivi, 95 d'entre eux ont démarré une prise prolongée de benzodiazépines (pendant au moins cinq ans), pas les autres. Pour le reste, les deux groupes étaient comparables : mêmes performances mentales au début de l'étude, mêmes facteurs susceptibles de provoquer une démence (âge, consommation d'alcool, diabète, hypertension, symptômes dépressifs…). Au total, 253 volontaires ont déclenché une démence : dans 80 % des cas, c'était une maladie d'Alzheimer. Mais le pourcentage annuel de personnes déclenchant une démence était de 4,8 dans le groupe « benzodiazépines », contre 3,2 dans le groupe de référence, soit une hausse de 50 % [1].

On sait que les troubles du sommeil et la dépression – traités par benzodiazépines – peuvent figurer parmi les signes avant-coureurs des démences type Alzheimer. Cela a-t-il pu biaiser vos résultats ?

B.B Dans le groupe qui prenait des « benzodiazépines », aucune personne ne présentait de signes avant-coureurs de démence sur les cinq années précédant le début de leur traitement. En outre, dans ce groupe, le surrisque de démence n'apparaît que cinq à huit ans après leur mise sous traitement. Si les symptômes pour lesquels on leur a prescrit des benzodiazépines avaient été des signes avant coureurs de démence, ce surrisque serait apparu plus tôt après la mise sous traitement. Bref, il y a peu de risques qu'une démence ait été déjà en train de s'établir au moment où ils démarraient leur prise de benzodiazépines.

Si ce lien entre benzodiazépines et démence traduit bien la réalité, quel pourrait être son impact en termes de santé publique ?

B.B. La France est dans le trio de tête mondial des consommateurs de benzodiazépines : à partir de 65 ans, 30 % des Français en consomment de manière prolongée, c'est-à-dire au-delà des deux à quatre semaines recommandées. Pire, plus de la moitié des plus de 65 ans traités par benzodiazépines sont sous traitement depuis plus de cinq ans ! Si nos résultats traduisaient bien la réalité, on peut estimer que les benzodiazépines seraient responsables de plus de 10 000 cas de démence par an dans cette tranche d'âge. Au nom du principe de précaution, il serait urgent d'agir, ne serait-ce que pour faire respecter la durée de prescription recommandée. ■

Propos recueillis par J.-P.B.

[1] S. Billioti de Gage *et al.*, *BMJ, 345*, e6231, 2012.

zoom

Mieux évaluer la migration cellulaire

Extraites d'une vidéo, ces images prises à 5 heures d'intervalle montrent la capacité d'une population de cellules (zones grumeleuses) à migrer pour recoloniser une brèche créée en leur sein (zone lisse). En analysant des centaines de vidéos de ce type, les cancérologues évaluent l'efficacité de nouveaux anticancéreux destinés à bloquer la migration des cellules tumorales dans l'organisme. Un travail long, répétitif et source d'erreurs. Pour contourner ce problème, une équipe française vient de mettre au point un logiciel qui effectue cette analyse de manière automatisée. Plus fiable, plus rapide et facile à utiliser, il devrait permettre de mieux évaluer ces anticancéreux.

M. Deforet *et al.*, *Nature Methods*, doi:10.1038/NMETH.2209, 2012.

En bref

UN PLASMA FROID ANTIBACTÉRIEN

Les désinfectants et les antibiotiques utilisés pour lutter contre les bactéries en milieu hospitalier sont souvent efficaces contre les cellules individuelles, mais pas contre les colonies bactériennes qui forment des couches collantes et difficiles à désagréger, appelées « biofilms ». Une équipe internationale a montré que l'utilisation d'un plasma froid à pression atmosphérique permettait de détruire des colonies de *Pseudomonas aeruginosa*, bactérie responsable d'infections nosocomiales. Ce plasma est produit par le passage d'un courant électrique dans un mélange gazeux qui est alors appliqué sur la surface à traiter.

M.Y. Alkawareek *et al.*, *PLOS One*, doi: 10.1371/journal.pone.0044289, 2012.

768 ANALYSES BIOCHIMIQUES PAR PUCE

L'étude des interactions entre l'ADN et les protéines est au cœur de nombreuses recherches biomédicales. Cependant, les outils capables d'évaluer l'affinité entre ces molécules ne peuvent effectuer qu'une douzaine d'expériences simultanément. Des ingénieurs de l'École polytechnique fédérale de Lausanne ont conçu un dispositif microfluidique capable de mesurer plusieurs centaines de ces interactions en une manipulation. Leur puce, plus petite qu'un domino, est équipée de 768 chambres pourvues de vannes qui contrôlent la rencontre entre des protéines et une solution de molécules d'ADN.

M. Geertz *et al.*, *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1206011109, 2012.

sur le web

www.minalogic.com

Le pôle de compétitivité rhônalpin Minalogic vient de s'associer à trois clusters européens pour former le réseau de recherche « Silicon Europe ».

Un matériau thermoélectriqu

ÉNERGIE

Un matériau structuré à très petite échelle convertit près de 20 % de la chaleur en électricité.

Dans une voiture, deux tiers environ de l'énergie tirée du combustible est dispersée sous forme de chaleur. Grâce aux matériaux thermoélectriques, capables de transformer un flux de chaleur en électricité (et inversement), on pourrait imaginer récupérer la chaleur émise par une voiture hybride pour alimenter sa batterie. Cependant, pour développer ce type d'applications, l'efficacité de ces matériaux nécessite d'être améliorée. Dans une publication récente, des ingénieurs américains expliquent comment ils sont parvenus à accroître les performances d'un matériau thermoélectrique connu en modifiant sa structure à différentes échelles. Grâce à cette approche, ils ont obtenu un matériau qui pourrait conduire à un rendement record de près de 20 % de chaleur transformée en électricité [1].

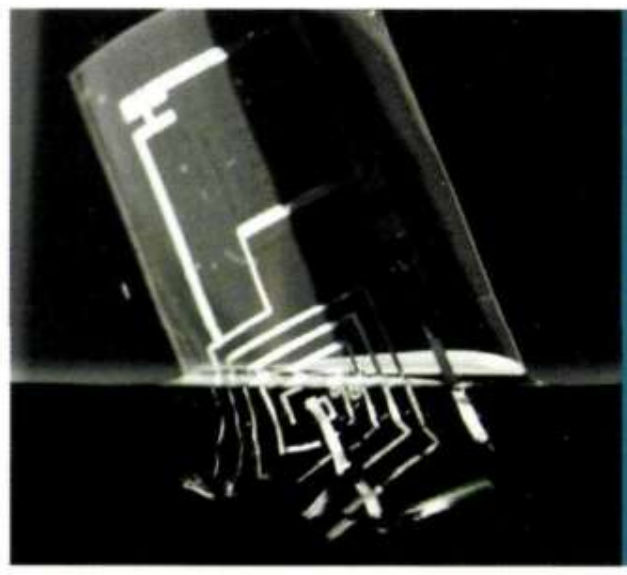
La thermoélectricité et ses effets sont connus depuis le XIXe siècle. Des physiciens avaient alors montré que des matériaux conducteurs soumis à une différence de température pouvaient générer un courant électrique. Ces mêmes matériaux peuvent être utilisés pour produire du froid, quand on leur impose un courant électri-

DÉVELOPPEMENT DURABLE *Des composants*

QUESTIONS À L'EXPERT

© DR

Fiorenzo Omenetto est professeur d'ingénierie biomédicale à l'université Tufts, dans le Massachusetts.



Cette puce électronique est biodégradable. Elle a été conçue en utilisant des matériaux solubles dans l'eau comme le magnésium à la place du cuivre et de l'argent, ou encore du silicium découpé en membranes très fines, le tout sur un support à base de soie. © BECKMAN INSTITUTE/ UNIVERSITY OF ILLINOIS AND TUFTS UNIVERSITY

Avec une vingtaine de collaborateurs, vous avez décrit un implant électronique biodégradable. À quoi sert-il ?

F.O. Cette puce d'environ 3 centimètres de côté permet de produire localement une augmentation de température de 5 °C, afin de prévenir la prolifération de bactéries au niveau d'une plaie après une opération. Le dispositif comporte une résistance chauffante et une antenne à radiofréquence qui permet sa commande à distance. Ces éléments, ainsi que le substrat sur lesquels ils sont déposés, sont conçus pour être biodégradables. Nous avons implanté l'antenne *in vivo*, chez des rats : au bout de 15 jours, la majeure partie du dispositif avait disparu, et aucune trace d'inflammation n'a été relevée. Nous allons prochainement tester l'ensemble du dispositif *in vivo*.

Comment avez-vous conçu cet implant ?

F.O. Nous n'avons utilisé que des matériaux qui se dégradent facilement. Par exemple, nous avons remplacé le cuivre et l'argent, couramment utilisés dans les circuits électroniques, par du magnésium, qui est également conducteur mais mieux accepté par l'organisme et très réactif en présence d'eau. Ce dernier a servi notamment à concevoir l'antenne pour l'alimentation à distance. Le silicium représentait cependant le problème le plus sérieux, car il est normalement très stable. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la plupart des chercheurs qui travaillent sur l'électronique biodégradable utilisent des matériaux organiques, dérivés du carbone, qui se désintègrent plus vite. Mais leurs performances sont moins bonnes que celles du silicium. Nous avons eu l'idée de l'utiliser sous forme de membranes très fines, d'environ 70 nanomètres d'épaisseur. Quand il se

© BECKMAN INSTITUTE/UNIVERSITY OF ILLINOIS AND TUFTS UNIVERSITY

plus performant

que. Cependant, l'utilisation de ces matériaux est restée cantonnée à des marchés de niche, en raison de leurs faibles rendements.

Facteur de mérite. Pour accroître leurs performances, la recherche actuelle porte sur la conception de nouveaux matériaux capables de conduire efficacement l'électricité, tout en limitant le transport de la chaleur. Cette capacité est appelée « facteur de mérite » du matériau. Elle peut être augmentée en introduisant dans le matériau de minuscules obstacles qui empêchent le transport de la chaleur.

Les chercheurs sont partis d'un matériau thermoélectrique connu pour son efficacité à transformer la chaleur en électricité, le tellure de plomb, dans lequel ils ont introduit trois types d'obstacles, à l'échelle atomique, nanométrique et microscopique. Ces trois types d'obstacles avaient déjà été testés, mais c'est la première fois qu'ils étaient combinés au sein d'un même matériau.

Cette approche a permis d'obtenir un facteur de mérite pour le tellure de plomb de 2,2, alors que la plupart des matériaux thermoélectriques actuels ne dépassent pas 1,7. Autrement dit, le matériau ainsi amélioré peut transformer jusqu'à 17 % de la chaleur en électricité. « *Ce résultat montre qu'on peut atteindre avec ces matériaux des rendements comparables à ceux de l'énergie solaire photovoltaïque* », indique Éric Alleno, de l'Institut de chimie et des matériaux Paris-Est.

Ce travail souffre cependant de quelques limites. D'une part, le plomb et le tellure sont toxiques. D'autre part, ce nouveau matériau ne semble pas le mieux adapté pour la récupération de la chaleur émise par les moteurs de voiture, l'une des principales applications. En effet, il offre ses meilleures performances à une température de l'ordre de 650 °C. « *À 400 °C, la température rencontrée dans un moteur de voiture, ce matériau n'est pas plus performant que d'autres* », précise Éric Alleno. ■ **Pascaline Minet**

[1] K. Biswas *et al.*, *Nature, 489*, doi: 10.1038/nature11439, 2012.

lectroniques biodégradables

présente ainsi, le silicium se dissout à une vitesse de 4,5 nanomètres par jour environ, tout en gardant ses propriétés de semi-conducteur.

Pourquoi avoir utilisé de la soie dans cet implant ?

F.O. Nous avons utilisé des couches de protéines dérivées de la soie comme substrat pour nos composants, et nous les avons également encapsulés dans ce matériau. Il faut dire que la soie possède plusieurs avantages : non seulement elle est biocompatible, mais il est aussi possible de contrôler la vitesse à laquelle elle se désintègre, en jouant sur sa structure. Quant aux dépôts métalliques que nous utilisons, ils se dégradent plus ou moins vite selon leur épaisseur. Grâce à ces différents leviers, nous pouvons donc, dans une certaine mesure, déterminer à l'avance la durabilité de nos composants.

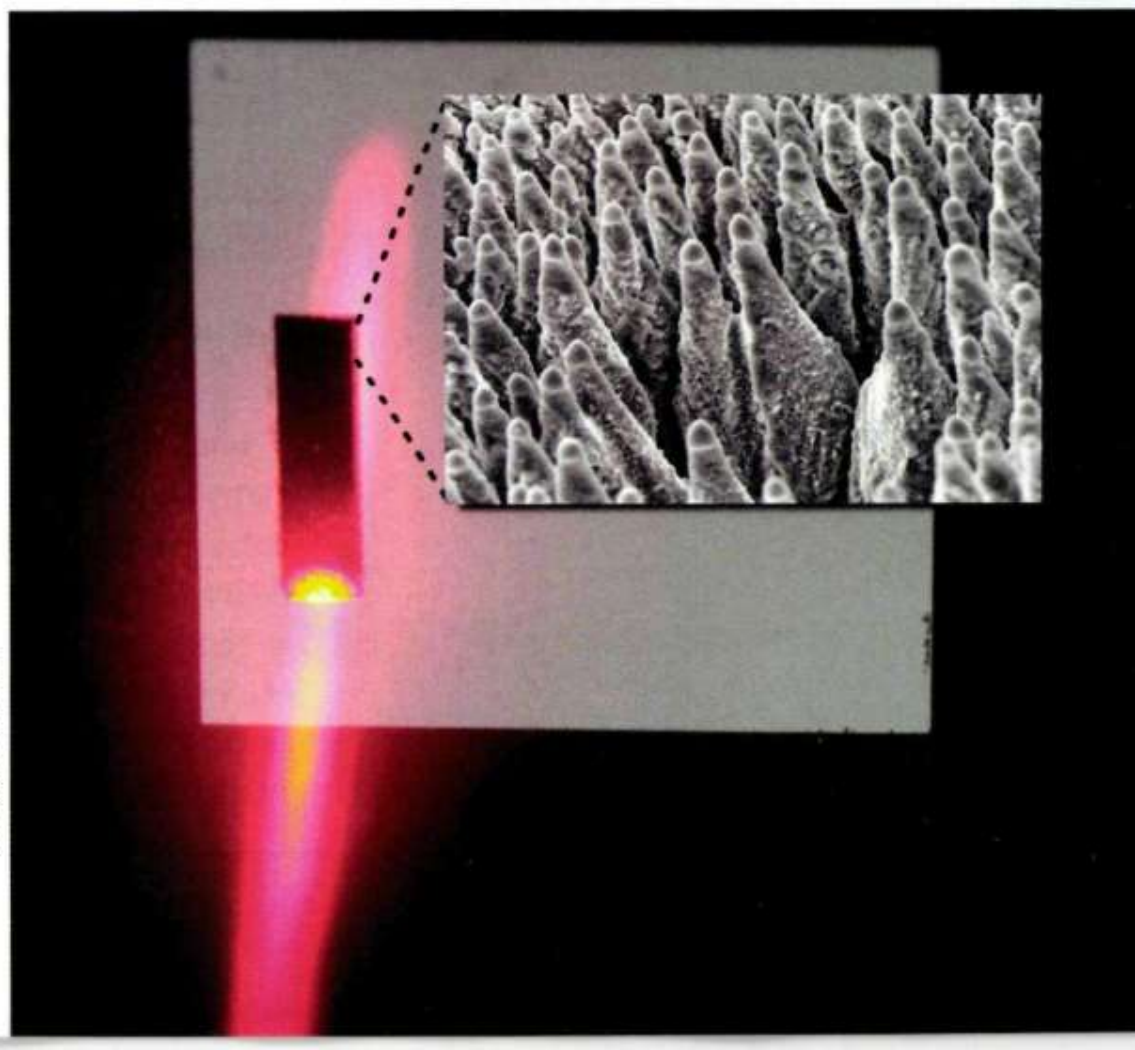
Ce principe peut-il être utilisé pour d'autres dispositifs ?

F.O. Oui, nous voulions faire la preuve qu'il est possible de fabriquer des composants très sophistiqués avec de l'électronique biodégradable, même si le plus avancé de nos prototypes reste l'implant thermique antibactérien. Nous avons donc conçu un capteur photographique CCD capable d'enregistrer des images à l'intérieur du corps d'une souris. Mais nous avons aussi mis au point des capteurs de températures et des cellules solaires. À plus long terme, nous espérons pouvoir développer des composants électroniques destinés à nos téléphones portables et à nos ordinateurs, qui se dégraderaient au bout d'un temps déterminé. Cela permettrait de lutter contre le problème des déchets électroniques, qui sont produits en quantités toujours plus importantes à travers le monde. ■ **Propos recueillis par P.M.**

[1] S.W. Hwang *et al.*, *Science, 337*, doi: 10.1126/science.1226325, 2012.

zoom Du silicium noir pour les panneaux solaires

Soumise à un faisceau laser très puissant (en rouge), en présence d'un gaz riche en soufre, cette plaquette de silicium a noirci et s'est couverte de minuscules protubérances (visibles sur l'agrandissement). Ce « silicium noir », découvert à l'université Harvard à la fin des années 1990, pourrait servir à concevoir des panneaux solaires plus efficaces. En effet, les cellules photovoltaïques qui en sont constituées captent les rayons infrarouges, qui correspondent à un quart du rayonnement émis par le Soleil, et qui échappent aux cellules solaires classiques. Des physiciens de l'institut de recherche allemand Heinrich-Hertz ont réussi à augmenter le rendement de cellules à base de silicium noir, en modifiant la forme du rayon laser utilisé pour modeler leur surface. www.fraunhofer.de



© FRAUNHOFER HHI

À surveiller

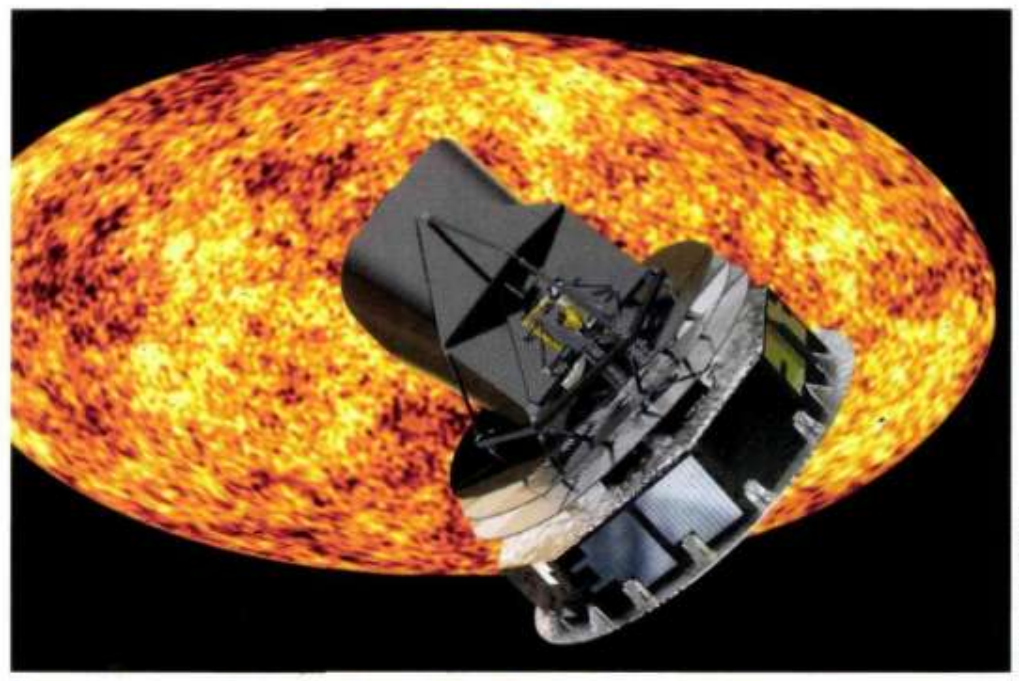
UNE RUE SIMULÉE EN LABORATOIRE

Fin février, l'Institut de la vision va mettre en œuvre une nouvelle plate-forme technologique qui reproduira fidèlement, sur 60 mètres carrés, l'espace d'une rue. Appelée StreetLab, elle permettra d'étudier les déficients visuels dans leurs déplacements urbains afin d'évaluer l'efficacité de produits et services destinés à améliorer leur autonomie. Tout l'espace sera équipé de capteurs visuels, micros, caméras de capture des mouvements, etc. *« De l'éclairage au fond sonore et aux obstacles, tout ce qui forme le milieu d'une rue sera paramétrable avec précision : notre objectif est de rendre nos essais reproductibles »*, détaille Emmanuel Gutman, responsable du projet. Ainsi, les industriels qui souhaitent tester leurs produits pourront le faire de manière fiable.

La carte de l'Univers la plus précise jamais réalisée

La carte du ciel la plus complète à ce jour, réalisée grâce au satellite Planck, est attendue au printemps 2013. On pourra y voir la première lumière de l'Univers.

Une photographie des débuts de l'Univers, c'est ce que dévoilera l'équipe internationale de la collaboration Planck courant 2013. Il s'agit de l'image la plus précise jamais constituée du « fond diffus cosmique », autrement dit la première lumière émise il y a quelque 13 milliards d'années. Cette carte devrait permettre de voir l'Univers tel qu'il était constitué à ses débuts, sans galaxies ni planètes, avec seulement quelques « grumeaux » de matière. Et ainsi permettre aux chercheurs de mieux comprendre comment s'est formé l'Univers tel que nous le connaissons actuellement.



© ESA/SOGANI U.

La carte du ciel réalisée par le satellite Planck (ici une vue d'artiste) représentera l'Univers tel qu'il était constitué à ses débuts, il y a 13 milliards d'années.

Le fond diffus cosmique est un rayonnement de 2,7 kelvins, soit – 270 °C. Pour l'observer, le satellite européen Planck lancé en mai 2009 contenait à son bord deux instruments : le HFI (High Frequency Instrument) pour les hautes fréquences et le LFI (Low Frequency Instrument) pour les plus basses fréquences. L'un et l'autre étaient chargés de mesurer les plus infimes variations de températures du rayonnement : de l'ordre du millionième de degré ! Pour cela, les deux instruments ont dû être maintenus à une température proche du zéro absolu, grâce à des réserves d'hélium liquide.

Début 2012, le satellite a arrêté d'observer l'Univers après avoir utilisé tout l'hélium nécessaire à son refroidissement. Après avoir recueilli ses données, les scientifiques du projet ont

© PHILIPPE TURPIN/PHOTONONSTOP

Si elle était délivrée par anticipation, la pilule du lendemain pourrait réduire significativement le nombre d'interruptions volontaires de grossesse.

Prescrire à l'avance la pilule du lendemain ?

Bien qu'efficace, la contraception d'urgence est sous-utilisée. La Haute Autorité de santé évalue l'intérêt de sa prescription à l'avance.

La contraception d'urgence ou « pilule du lendemain » permet de prévenir une grossesse non désirée après un rapport sexuel non protégé. En la prescrivant à l'avance, pourrait-on réduire le nombre d'interruptions volontaires de grossesse ? La Haute Autorité de santé (HAS) répondra à cette question au printemps 2013. Pour l'heure, cette méthode est sous-utilisée. Délivrée à l'avance, elle pourrait être prise plus fréquemment et de façon plus précoce, ce qui est déterminant pour son efficacité. Avant de se prononcer, la HAS doit évaluer si cela peut altérer le recours à la contraception classique, ou encore l'utilisation de méthodes préventives des infections sexuellement transmissibles. ■ **Caroline Guignot**

dû « nettoyer » les neuf cartes du ciel correspondant aux neuf fréquences observées par le satellite européen. Les images propres et dépourvues du « bruit parasitaire » devraient sortir courant mars ou avril 2013. Le bruit parasitaire n'est toutefois pas inutile : une partie de ce dernier est en fait le rayonnement des objets se situant au premier plan devant le fond diffus cosmique, les amas de galaxies par exemple. Des informations que certains spécialistes se feront un plaisir de récupérer. ■ **Gabrielle Carpel**

INAUGURATION D'ALMA

Le réseau de télescopes Alma sera inauguré le 13 mars 2013. Les 66 antennes déployées à 5 000 mètres d'altitude sur le plateau de Chajnantor, au Chili, capteront les rayonnements dits millimétriques et submillimétriques, typiques des objets les plus froids de l'Univers tels que les galaxies primordiales. Les astronomes pourront ainsi étudier la genèse de ces corps célestes avec une précision inégalée.

UN VÉHICULE POUR LA STATION SPATIALE INTERNATIONALE

Le quatrième véhicule de transfert automatisé européen (ATV-4) sera lancé en avril 2013. Comme le veut la tradition, il sera baptisé du nom d'un grand scientifique européen : Albert Einstein. Son rôle sera double : contrôler l'orientation et l'altitude de la Station spatiale internationale (notamment pour éviter une collision avec des débris spatiaux), mais également assurer son ravitaillement en carburant et en fret.

© FRANCK PENNANT/PANORAMIC

Le président-directeur général de France Télécom Stéphane Richard (à gauche) a présenté la téléphonie de quatrième génération le 21 juin dernier à Marseille, l'une des premières villes à accéder au très haut débit.

Le très haut débit pour les téléphones mobiles

Début 2013, quatre opérateurs déploieront leur réseau de téléphonie de quatrième génération dans les principales agglomérations françaises.

A Lyon et à Marseille, le déploiement de la téléphonie de quatrième génération (4G) a commencé cet été. Avec leur installation pilote, ces villes sont d'ores et déjà dotées de la technologie Long Term Evolution (LTE), permettant l'accès au très haut débit. Elles seront par conséquent les premières à déployer leur réseau commercial 4G début 2013. Après ces pionnières, suivront Lille, Montpellier et Nantes. Et bientôt Paris. Le conseil municipal parisien a en effet voté, le 16 octobre, une nouvelle charte autorisant les opérateurs à développer des antennes-relais compatibles avec la 4G. Avec la LTE, les débits théoriques atteindront une centaine de mégabits par seconde, soit le débit actuel de la fibre optique. Les constructeurs prévoient même un débit théorique d'un gigabit par seconde en 2014. ■ **Gautier Cariou**

La chasse américaine aux conflits d'intérêts

Avec la loi américaine « Sunshine Act », effective à partir de mars 2013, les producteurs de médicaments devront déclarer leurs conflits d'intérêts avec le corps médical.

Qu'il s'agisse d'offrir un repas ou de verser une somme d'argent, les producteurs de médicaments devront, dès mars 2013, déclarer la valeur de leurs « gestes » en faveur des médecins et des hôpitaux universitaires américains. Tout transfert d'un montant supérieur à 10 dollars et dépassant 100 dollars par an sera répertorié sur un site Internet public, accompagné des coordonnées du médecin. Cette obligation de transparence découle de l'amendement « Sunshine Act », signé par Barack Obama en 2010 dans le cadre de sa réforme du système de santé. Cette loi devrait permettre, entre autre, de limiter les prescriptions inutiles. ■ **Gautier Cariou**

Acteurs

Nominations du mois

Gran Sasso
STEFANO RAGAZZI,

57 ans, devient directeur du laboratoire national du Gran Sasso en Italie. Professeur à l'université de Milan-Bicocca, il a étudié la physique des hautes énergies et les neutrinos. Depuis 1992, il a coordonné plusieurs groupes de recherche au CERN, notamment dans le cadre de l'expérience CMS du LHC, qui a participé à la découverte du boson de Higgs.

Lafarge
CARLOS ESPINA,

46 ans, est nommé directeur recherche et développement du groupe Lafarge. Diplômé de l'école des Mines d'Oviedo, en Espagne, il était directeur général d'ArcelorMittal Méditerranée, après avoir été vice-président en charge de la R&D pour la zone Europe, ainsi que pour le secteur automobile.

ENS Cachan
PIERRE-PAUL ZALIO,

46 ans, va présider l'école normale supérieure de Cachan, dont il fut élève. Docteur de l'EHESS et médaille de bronze du CNRS, il est professeur de sociologie et chercheur au laboratoire Institut et dynamiques historiques de l'économie de l'ENS. Après avoir dirigé le département de sciences sociales de l'école, il en était le vice-président chargé de la recherche.

Disparition

Keith Campbell

Le biologiste britannique Keith Campbell, à l'origine des premiers mammifères clonés, est décédé le 5 octobre.

Le 5 octobre disparaissait le biologiste Keith Campbell. De sa carrière d'une trentaine d'années on se souvient surtout de la naissance de Dolly, en 1996. Cette brebis, fruit d'une collaboration avec l'embryologiste Ian Wilmut, était le premier mammifère cloné à partir d'un noyau de cellule adulte. *« Mais dès 1995, les deux biologistes avaient déjà réussi à faire naître deux agneaux clonés, Megan et Morag, à partir de cellules embryonnaires »*, rappelle Jean-Paul Renard, directeur de recherche honoraire à l'INRA, qui a participé au premier clonage bovin.

Dès le début de sa carrière, Keith Campbell s'intéresse à la croissance et à la différenciation cellulaire. Il travaille sur les levures et les amphibiens avant de se tourner vers les mammifères. *« Jusqu'en 1995, les biologistes considéraient qu'il était impossible de reprogrammer des noyaux de cellules différenciées pour obtenir à nouveau un animal »*, explique le chercheur de l'INRA. À l'institut Roslin de l'université d'Édimbourg, Keith Campbell et Ian Wilmut commencent à prouver le contraire : ils utilisent des cellules d'embryons de moutons, mises en culture et déjà en partie différenciées. En transférant le noyau de ces cellules dans des ovocytes, ils obtiennent Megan et Morag.

« Cela a commencé à fissurer le dogme de l'irréversibilité biologique de la différenciation des cellules », précise Jean-Paul Renard. L'année suivante, Dolly confirme cette découverte. Les recherches de Keith Campbell avaient également un but pratique : mettre au point des moyens de modifications génétiques pour les animaux d'élevage. C'est dans cette voie qu'il poursuit sa carrière, faisant évoluer la compréhension des mécanismes fondamentaux de la biologie cellulaire. ■ **Antoine Cappelle**

Et aussi

Michel Lussault, géographe, est nommé directeur de l'Institut français de l'éducation, structure de l'ENS Lyon dédiée à la recherche et à la formation sur l'éducation.

Récompenses

Serge Haroche, de l'ENS Paris, et **David J. Wineland,** de l'Institut national des normes et de la technologie, aux États-Unis, ont reçu le prix Nobel de physique pour leurs méthodes expérimentales permettant d'isoler, de mesurer et de manipuler des particules quantiques sur des durées de l'ordre de la milliseconde.

Robert J. Lefkowitz, de l'université Duke, et **Brian K. Kobilka,** de l'université Stanford, tous deux aux États-Unis, ont reçu le prix Nobel de chimie pour leurs études des récepteurs couplés aux protéines G, capables de déclencher les réponses cellulaires adaptées aux informations qu'ils détectent.

John B. Gurdon, de l'université de Cambridge, en Angleterre, et **Shinya Yamanaka,** de l'université de Kyoto, au Japon, ont reçu le prix Nobel de médecine pour avoir découvert que des cellules matures reprogrammées peuvent devenir pluripotentes et se différencier en plusieurs types de cellules.

Retrouvez le détail des prix Nobel 2012 dans le numéro de janvier 2013 de *La Recherche*.

Olivier Guyon, physicien à l'université d'Arizona aux États-Unis, a reçu l'une des subventions « Genius Grant » de la Fondation MacArthur, pour ses travaux sur les télescopes dédiés à la recherche d'exoplanètes.

Decio Eizirik, de l'université libre de Bruxelles, reçoit le prix Albert Renold, remis par l'Association européenne pour l'étude du diabète pour sa contribution à l'avancée des connaissances dans la recherche sur les îlots de Langerhans.

Disparu

STANFORD OVSHINSKY est décédé le 17 octobre, à l'âge de 89 ans. Il fut à l'origine de brevets dans l'industrie électronique, notamment la mémoire à changement de phase.

© DR - DR - AGNES VIGNES - THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM

Aux « révélations » annoncées par *Le Nouvel Observateur* dans son édition du 20 septembre a succédé dans la presse l'analyse critique de l'article de Gilles-Éric Séralini et de sa médiatisation.

contrôle (surtout chez les femelles), ainsi qu'à un plus fort taux de tumeurs.

Pourquoi ces conclusions ne sont-elles pas recevables aux yeux du HCB et de l'Anses ? La principale critique tient en quelques mots : le nombre d'animaux testés est insuffisant pour qu'on puisse conclure à une différence entre les animaux du groupe « contrôle » et les animaux des groupes « test ». Le problème est amplifié par le fait que la souche de rat utilisée, des « Sprague-Dawley », est particulièrement portée à développer des tumeurs avec l'âge. « *On peut utiliser cette souche de rats pour des études de deux ans,* a précisé lors de la conférence de presse de l'Anses Jean-Pierre Cravedi, spécialiste de toxicologie alimentaire à l'INRA de Toulouse. *Mais alors il faut en utiliser de 75 à 100 par sexe et par groupe, pour qu'un nombre suffisant d'entre eux parvienne à un âge avancé, et qu'on puisse analyser statistiquement les observations effectuées à cet âge.* » Ces critères n'étant pas respectés, les chances d'arriver à prouver quoi que ce soit – un effet ou une absence d'effet – étaient *de facto* voisines de zéro.

Aliment entier. Cela dit, il y a de fortes chances que les respecter ne suffise pas non plus ! Pour plusieurs raisons. La première est que ces critères ont été établis dans le cadre de la toxicologie alimentaire « classique », où l'on recherche l'effet d'une substance bien identifiée susceptible de contaminer la nourriture à un stade ou un autre de la chaîne de production. Un contaminant dû aux conditions de culture – par exemple un pesticide ; un contaminant dû au procédé de fabrication de l'aliment – par exemple de l'acrylamide* ; un contaminant provenant d'un contenant alimentaire – par exemple du bisphénol A.

Dans tous ces cas de figure, les essais de toxicité chronique s'effectuent en donnant à l'animal une alimentation normale, à laquelle on ajoute le produit testé, en quantités croissantes. Mais >>>

* **L'ACRYLAMIDE,** molécule produite lors de certains procédés de cuisson à haute température, a un effet carcinogène chez le rat.

L'essentiel

> LE 19 SEPTEMBRE, un article de l'équipe de Gilles-Éric Séralini conclut à la toxicité d'un maïs transgénique tolérant au Roundup®.

> LES INSTANCES ayant expertisé ces données annoncent que cette conclusion est erronée, mais préconisent les essais de long terme.

> PROBLÈME : dans le cas des OGM, il est peu probable que de tels essais permettent de clore la controverse.

Les effets toxiques impossibles à prouver

>>> tester du maïs, du soja, du colza génétiquement modifié est bien différent : on teste non pas une substance nouvelle, mais un aliment qui la contient. Or, on ne peut pas augmenter la quantité d'un aliment ingéré sans risquer un déséquilibre nutritif ayant des conséquences délétères pour la santé. Sans compter qu'un rat n'aime pas certaines denrées, ce qui ne simplifie pas la tâche. Avec du colza, par exemple, impossible de monter jusqu'à 30 % – à moins de nourrir l'animal par gavage.

La deuxième raison est que ce problème inhérent à tout test d'un aliment entier est particulièrement gênant si l'on cherche à détecter un effet faible. Or, c'est l'hypothèse en vigueur concernant un éventuel effet à long terme des OGM aujourd'hui commercialisés. Car il s'agit d'un effet que ni l'analyse de la composition de la plante transgénique ni les essais de toxicité à court terme réalisés en amont de la mise sur le marché ne permettent de suspecter (lire « L'évaluation des OGM en 6 questions », p. 48). Cet effet, s'il existe, est si peu visible que ni les éleveurs ni les services vétérinaires ne l'ont repéré chez les animaux reproducteurs nourris depuis des années avec des OGM.

En théorie, il peut provenir de deux sources. La première est bien identifiée : c'est la protéine codée par le transgène. Pour les OGM les plus courants, il s'agit de l'enzyme EPSPS, qui confère la tolérance au Roundup®, ou la toxine Cry insecticide (voir « Les deux types d'OGM les plus fréquents », p. 46). Dans ce cas, l'expérimentateur n'est pas complètement dépourvu. En effet, on sait purifier ces protéines. Un essai de toxicité chronique « classique », où ces protéines seraient ajoutées à la nourriture en quantités croissantes, est alors envisageable.

Mais la seconde source, elle, est beaucoup plus problématique. Il s'agit de molécules dont la production serait involontairement déclenchée dans la plante, après l'insertion du transgène dans le génome de celle-ci. Certes, lors de l'évaluation des plantes génétiquement modifiées, on vérifie la composition en plusieurs dizaines de molécules essentielles sur le plan nutritif (acides aminés, acides gras, vitamines...), de même que le niveau en toxines chez les plantes qui en produisent naturellement (par exemple, les alcaloïdes chez la pomme de terre). Mais on ne peut exclure des modifications dans l'expression d'autres gènes. Or, comment rechercher l'effet de molécules non identifiées ?

De l'animal à l'homme. Enfin, l'expérimentateur se heurte au fait qu'un rat est un rat. Pas un lapin, un bovin, un porc, et encore moins un homme ! Les toxicologues travaillant sur l'effet à long terme des produits chimiques le savent bien. « *Pour explorer un éventuel effet carcinogène de telle ou telle molécule, il faudrait idéalement utiliser deux espèces d'animaux, par exemple le rat et le lapin,* explique Jean-Pierre Cravedi. *Mais même si toutes deux répondent de la même façon à la molécule testée, la question de la pertinence du résultat pour l'homme se pose.* »

Bizarrement, dès qu'il s'agit de l'évaluation des OGM, la discussion quant aux limites du « modèle » animal est pourtant quasi absente. Alors que le changement est en marche dans d'autres secteurs de la toxicologie réglementaire. Ainsi, les industriels du médicament testent de plus en plus leurs « candidats-médicaments » sur des cellules humaines en culture. Et une évolution analogue se profile pour l'évaluation des produits chimiques, en particulier aux États-Unis, où le National Research Council a appelé, en 2007, à une révision complète des stratégies en toxicologie. Mais dans le cas des OGM, selon le sociologue David Demortain, du centre sciences en société de l'INRA, à Paris : « *L'évaluation réglementaire du risque toxicologique n'est pas un espace d'interrogations et d'innovation, mais un exemple de conservatisme* [5]. »

GRACE, un essai à suivre

Coordonné par une équipe allemande, un ambitieux projet européen sur l'évaluation des OGM, proposé fin 2011, a officiellement commencé en juin 2012. Nommé GRACE, il comprend un volet expérimental dont l'objectif est d'optimiser les essais de toxicité « subchronique », c'est-à-dire les essais de toxicité de 3 mois. Dès janvier 2013, plusieurs variétés de maïs cultivées en Espagne seront comparées et testées chez des rats : 2 variétés du maïs insecticide MON810, 2 variétés non transgéniques génétiquement proches du MON810, et plusieurs variétés conventionnelles commerciales (au maximum 5).

Cette diversité a pour but d'obtenir le plus d'informations possibles sur la variabilité biologique des maïs testés, et sur la variabilité des réponses biologiques observées chez les animaux nourris avec ces maïs. Ce dernier point sera étudié par les approches analytiques classiques, mais aussi en recourant à la métabolomique. Alain Paris, de l'INRA de Paris, gérera cette partie du projet. « *Nous voulons voir si l'on observe, chez ces animaux, une signature métabolique caractéristique de leur alimentation,* explique-t-il. *Si c'est le cas, il s'agira de déterminer si l'un ou l'autre des changements métaboliques détecté est suspect.* »

Quel que soit l'aliment considéré (ici, un maïs MON810 « insecticide »), il est impossible d'en augmenter les doses dans la ration alimentaire d'un animal comme on le ferait avec une simple molécule.

Pourtant, la recherche fondamentale le montre, des pistes d'évolution existent. Il s'agirait par exemple de renforcer l'évaluation en amont, grâce à des approches permettant de comparer la composition moléculaire d'une plante transgénique par rapport à celle de son « équivalent » non transgénique, de façon beaucoup plus précise que ce n'est le cas actuellement. À cet égard, la protéomique et la métabolomique sont deux techniques de choix. Ces deux mots barbares désignent, pour le premier, la science qui étudie l'ensemble des protéines d'une cellule, d'un tissu, ou d'un organisme. Et pour le second, la science qui étudie l'ensemble des métabolites (les sucres, les acides aminés, les acides gras, etc.). Toutes deux sont bien plus puissantes que les approches analytiques classiques utilisées jusqu'à présent. En effet, contrairement à ces dernières, elles ne se fondent pas sur des a priori : au lieu de regarder si telle molécule bien connue est produite différemment ou pas, on examine l'ensemble des molécules synthétisées par une cellule ou un tissu. Puis on regarde si certaines sont produites dans la plante génétiquement modifiée alors qu'elles ne l'étaient pas dans la plante d'origine, ou inversement. Et ce n'est qu'ensuite qu'on les identifie.

Variabilité naturelle. Des travaux mettant en œuvre ces approches l'ont d'ores et déjà montré, il existe toujours des différences entre plantes OGM et non OGM. Cela n'a rien d'étonnant, car il n'y a rien de plus variable qu'une plante. Il existe des différences entre variétés OGM et non OGM, comme il existe des différences d'une variété OGM à une autre, ou d'une variété non OGM à une autre. Ou des différences au sein d'une seule et même variété, selon qu'elle pousse à tel ou tel endroit. « *Mais l'intérêt de la protéomique et de la métabolomique,* explique Jean-Pierre Cravedi, *est qu'elles fournissent des données en quantité telle qu'on peut déterminer de façon statistiquement fiable à quel point une variation s'écarte de la variation "standard" pour la molécule considérée.* » Si ce type d'analyse était réalisé de façon systématique, alors on pourrait identifier d'éventuels changements sortant de la gamme de variabilité naturelle, donc potentiellement suspects. Cela justifierait alors soit d'écarter l'OGM en question, soit de renforcer son évaluation en aval. Quitte à rebasculer alors vers des tests chez l'animal qui, eux aussi, pourraient inclure une analyse de protéomique ou de métabolomique (lire « GRACE, un essai à suivre », p. 44).

Mais cela, c'est le futur. Et probablement assez lointain, car ces approches doivent être affinées avant d'espérer franchir la barrière entre recherche fondamentale et évaluation réglementaire. En attendant, les faiblesses des essais chez l'animal étant ce qu'elles sont, l'argument d'un « risque pour la santé », l'un des deux seuls qui permettent de refuser la mise sur le marché, a encore de beaux jours devant lui.

Choix politique. À moins que les responsables politiques ne s'attaquent au problème de fond ! On le sait, les plantes OGM actuellement sur le marché ont un intérêt essentiellement agronomique. Elles n'apportent pas de bénéfice direct aux consommateurs, ce qui n'est sans doute pas pour rien dans le refus d'en consommer, exprimé par une partie d'entre eux. Dès lors, la vraie question n'est-elle pas, pour la collectivité, de déterminer le type d'agriculture qu'elle souhaite ? Sans qu'un pays souhaitant exclure tel ou tel OGM ne doive produire, comme c'est aujourd'hui le cas en Europe, des arguments « scientifiques » laissant suspecter un risque pour la santé ou pour l'environnement ?

Le 13 juillet 2010, la Commission européenne a fait un pas dans cette direction : elle a proposé au Parlement européen et au Conseil un texte offrant aux États-membres la possibilité de restreindre ou prohiber la mise en culture d'OGM pour des raisons autres qu'un risque sanitaire ou environnemental [6]. Ce texte a recueilli l'approbation du Parlement. Mais une fois devant le Conseil, il s'est heurté à l'opposition répétée d'États membres, qui ont contesté sa solidité juridique face aux règles du marché unique et de l'Organisation mondiale du commerce [7]. L'actuelle présidence chypriote ne considérant pas ce débat comme prioritaire, le texte est, pour l'instant, enterré. Parmi les États qui s'y sont opposés avec constance figurent l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Belgique et la France. ■

[1] G.-E. Séralini *et al., Food Chem. Toxicol., 50,* 4221, 2012.
[2] http://tinyurl.com/HCB-CS-avis-Seralini
[3] http://tinyurl.com/ANSES-avis-Seralini
[4] http://tinyurl.com/HCB-CEES-Seralini
[5] D. Demortain, *« The side effects of standardisation. Conventional toxicity tests, GM food safety and toxicology's reluctance to change »,* International COBINA workshop, Paris, décembre 2010.
[6] http://tinyurl.com/Commission-proposal-on-GMO
[7] http://tinyurl.com/Conclusions-Conseil-juin-2012

3 • Les deux types d'OGM

La tolérance à un herbicide total, tel le Roundup®, et la production d'une toxine protégeant contre des insectes sont les deux propriétés ajoutées au plantes transgéniques cultivées aujourd'hui. Certaines cumulent les deux

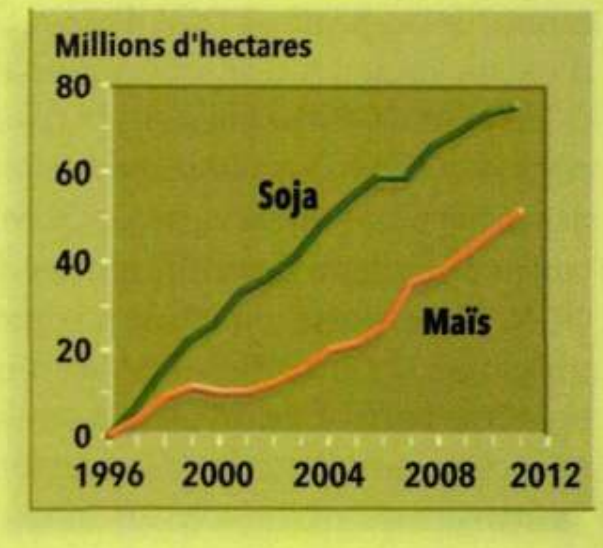
Soja tolérant à un herbicide

Le soja tolérant à un herbicide total (par exemple le Roundup® de Monsanto) est la plante transgénique la plus courante. Cette tolérance est obtenue grâce au transfert d'un gène microbien (en rose) dans des cellules végétales embryonnaires, qui se développent ensuite en plantule puis en plante. Ce gène code une enzyme appelée EPSPS que les plantes possèdent aussi, mais sous une forme différente. Lorsqu'on pulvérise du Roundup® sur le soja, le glyphosate (en jaune), substance active de l'herbicide, pénètre dans les cellules des feuilles. Il bloque l'enzyme EPSPS végétale (en vert), mais pas l'enzyme EPSPS d'origine microbienne (en rose). Celle-ci fonctionne normalement, assurant la synthèse d'acides aminés indispensables à la survie de la plante.

ÉVOLUTION DES SURFACES CULTIVÉES

Le soja et le maïs sont les deux plantes transgéniques les plus cultivées au monde. De 1996, date de la première mise en culture, à 2011, les surfaces cultivées de soja transgénique sont passées de 0 à 75 millions d'hectares. La culture du maïs transgénique a augmenté moins vite, atteignant, en 2011, 50 millions d'hectares.

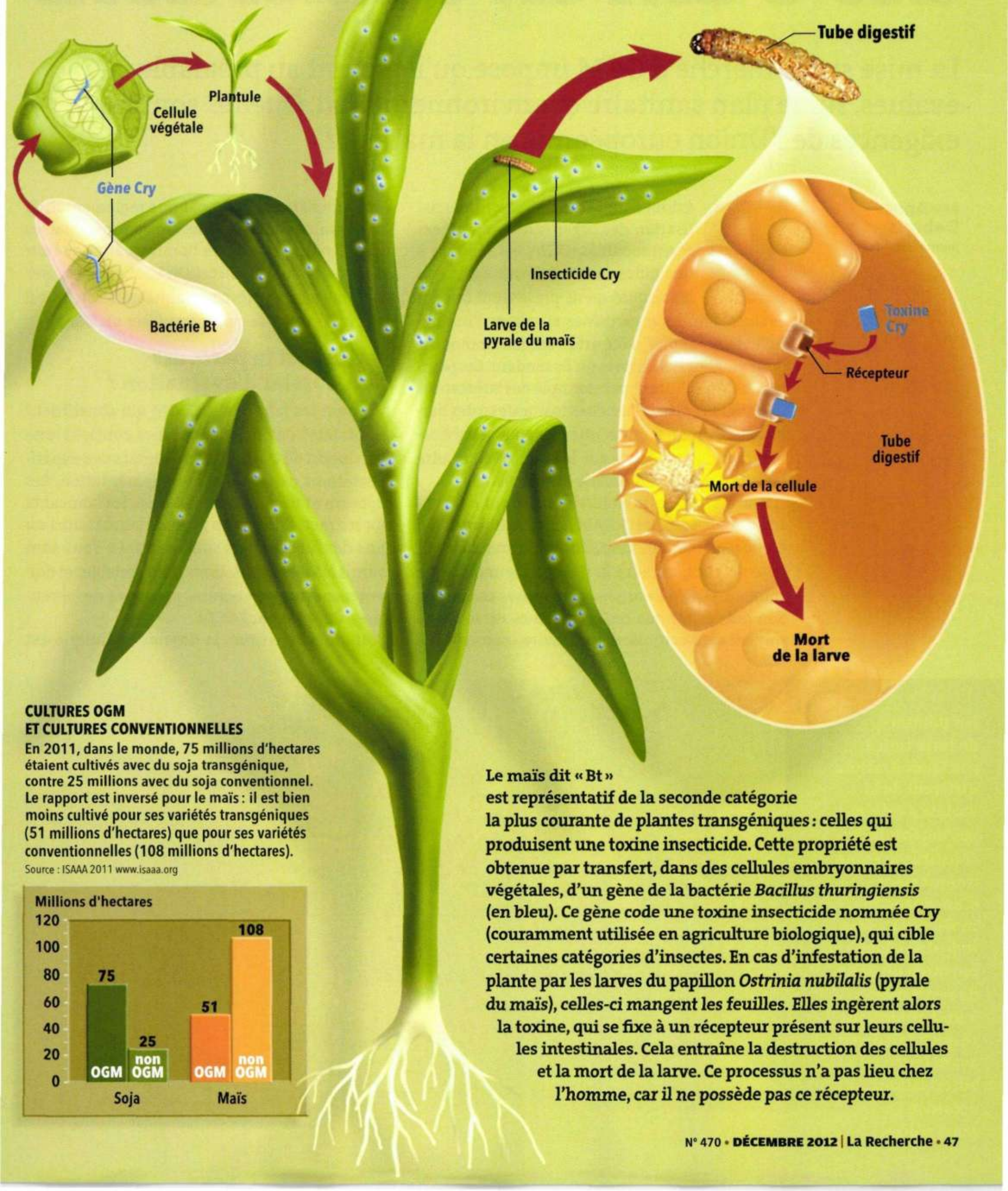
Source : ISAAA 2011 www.isaaa.org



les plus fréquents

TEXTE LISE LOUMÉ
© INFOGRAPHIE
SYLVIE DESSERT

Maïs produisant un insecticide



CULTURES OGM ET CULTURES CONVENTIONNELLES

En 2011, dans le monde, 75 millions d'hectares étaient cultivés avec du soja transgénique, contre 25 millions avec du soja conventionnel. Le rapport est inversé pour le maïs : il est bien moins cultivé pour ses variétés transgéniques (51 millions d'hectares) que pour ses variétés conventionnelles (108 millions d'hectares).

Source : ISAAA 2011 www.isaaa.org

Le maïs dit « Bt » est représentatif de la seconde catégorie la plus courante de plantes transgéniques : celles qui produisent une toxine insecticide. Cette propriété est obtenue par transfert, dans des cellules embryonnaires végétales, d'un gène de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (en bleu). Ce gène code une toxine insecticide nommée Cry (couramment utilisée en agriculture biologique), qui cible certaines catégories d'insectes. En cas d'infestation de la plante par les larves du papillon *Ostrinia nubilalis* (pyrale du maïs), celles-ci mangent les feuilles. Elles ingèrent alors la toxine, qui se fixe à un récepteur présent sur leurs cellules intestinales. Cela entraîne la destruction des cellules et la mort de la larve. Ce processus n'a pas lieu chez l'homme, car il ne possède pas ce récepteur.

4 • L'évaluation des OGM en 6 questions

La mise sur le marché d'OGM impose qu'ils soient au préalable évalués, sur le plan sanitaire et environnemental. Quelles sont les exigences de l'Union européenne en la matière ?

PAR **Anne Debroise,**
journaliste.

Partout dans le monde, la commercialisation des organismes génétiquement modifiés (OGM) est soumise à une autorisation, délivrée après que les risques qu'ils présentent ont été évalués. Car ces organismes suscitent l'inquiétude : leur génome a été artificiellement modifié pour améliorer le service qu'ils rendent. Les plantes OGM produisent par exemple des substances insecticides, ou sont rendues tolérantes à des herbicides. L'Union européenne est réputée particulièrement sourcilleuse sur le sujet, et son cadre législatif n'a cessé d'évoluer avec le marché.

Évalués dans les premiers temps comme des aliments nouveaux, les OGM bénéficient aujourd'hui d'une réglementation spécifique : la première, qui date de 2001, encadre la mise sur le marché de semences OGM destinées à être mises en culture. Son but : éviter que ces organismes ne se disséminent sans contrôle dans l'environnement. Elle a été complétée en 2003 par une réglementation sur les graines ou les plantes consommées par les animaux d'élevage ou les hommes, ainsi que sur les ingrédients issus de ces OGM, qui doit assurer leur innocuité pour les consommateurs. Que faut-il donc faire avant de commercialiser un OGM ?

1 Quel est le parcours d'un dossier d'évaluation ?

Ce sont les fabricants d'OGM qui constituent le dossier d'évaluation. Celui-ci contient une description de l'OGM et les résultats des expérimentations exigées par la réglementation. Ces expérimentations sont menées par les fabricants eux-mêmes, dans leurs propres laboratoires ou dans des laboratoires sous-traitants. Tous sont soumis à des accréditations renouvelables et doivent respecter les « bonnes pratiques de laboratoire » définies par l'OCDE.

Une fois constitué, le dossier technique est

Les pommes de terre transgéniques Amflora diffèrent de la variété d'origine par leur amidon, constitué presque uniquement d'amylopectine, molécule à usage industriel. Elles ont aussi un gène de résistance à un antibiotique, ce qui a fait débat avant leur autorisation, accordée en mars 2010.

soumis au gouvernement d'un État membre. En France, c'est le ministère de l'Économie qui est saisi. Il consulte alors l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail et la Haute Autorité des biotechnologies si la demande porte sur la culture d'OGM. La première est seule consultée si la demande ne concerne que l'importation de produits destinés à l'alimentation. Leurs avis sont transmis à l'Autorité européenne de sécurité des aliments. Celle-ci recueille alors les commentaires des autres États membres, avant de faire parvenir son propre avis au Comité permanent de la chaîne alimentaire et de la santé animale de la Commission européenne, qui vote pour ou contre l'autorisation de mise sur le marché en Europe. Celle-ci est valable dix ans.

2 Comment décrit-on un OGM ?

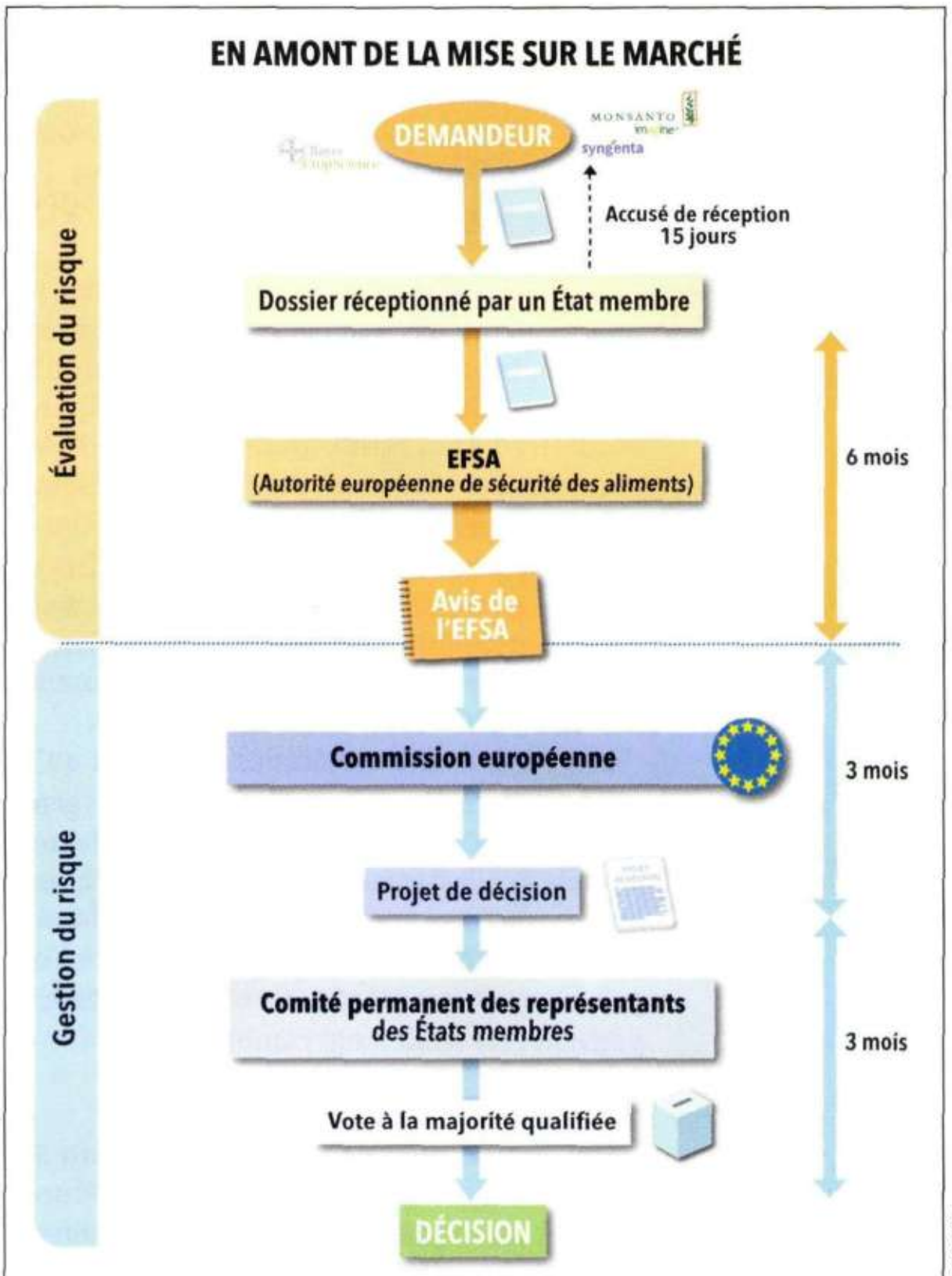
Il s'agit de décrire exactement l'organisme parent (exempt de manipulation), puis toutes les manipulations effectuées : la séquence exacte de l'ADN inséré et la méthode utilisée pour intégrer ce fragment dans l'ADN de l'organisme hôte. La méthode reste aléatoire : le gène d'intérêt n'intègre pas toutes les cellules, et on ne maîtrise pas le lieu d'insertion. Après sélection de l'OGM, il faut donc le caractériser.

D'un point de vue génétique, tout d'abord. Certes, on n'exige pas du fabricant qu'il séquence entièrement l'ADN de l'hôte. Mais il doit prouver que les gènes introduits l'ont été dans l'ADN du noyau cellulaire, et pas dans celui des mitochondries* ou des chloroplastes*. Il doit aussi prouver qu'ils ne se sont pas insérés dans des zones où ils pourraient perturber l'expression normale des gènes de l'organisme, ou dans des zones connues pour leur instabilité. La stabilité de la modification génétique est évaluée sur 3 à 5 générations successives.

Les analyses qui suivront procèdent par comparaison de l'OGM avec des organismes conventionnels qui lui sont très proches et qui ont été suffisamment consommés pour que l'on soit sûr de leur innocuité. Si l'OGM et son comparateur ne sont pas assez proches, plusieurs variétés comparatives sont exigées. Cette comparaison permet de vérifier que l'OGM fabrique bien les protéines souhaitées. Mais aussi de détecter si la manipulation affecte la production de substances naturelles.

*LES MITOCHONDRIES sont des organites des cellules qui fournissent à celles-ci de l'énergie.

*LES CHLOROPLASTES sont les organites des cellules végétales où se déroule la photosynthèse.



AVANT LA COMMERCIALISATION d'un OGM, le fabricant transmet un dossier à l'EFSA *via* un État membre. L'agence évalue l'existence de risques pour la santé ou l'environnement. Son avis (rendu public) est transmis à la Commission, qui élabore un projet de décision soumis au vote de représentants des États membres. Si aucune majorité ne se dégage, c'est la Commission qui décide.

© INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

Ces analyses portent sur les OGM en « conditions réelles ». Ainsi, pour un soja rendu tolérant aux herbicides, on teste le soja OGM exposé à l'herbicide qu'il tolère ; le même exposé à un herbicide conventionnel ; et les comparateurs traités avec l'herbicide conventionnel. >>>

L'essentiel

> LA RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE concernant la commercialisation des OGM est la plus contraignante dans le monde.

> LES FABRICANTS doivent demander des autorisations en ayant prouvé que leurs végétaux transgéniques n'auront pas d'impact néfaste détectable sur la santé des consommateurs.

> LE RISQUE PRINCIPAL avec les OGM est leur culture en plein champ, qui peut par exemple favoriser l'émergence d'insectes résistants.

© HANS RUDOLF OEHRLI, NEW YORK / LONDON / LUXEMBOURG

L'évaluation des OGM en 6 questions

3 Pourquoi vérifie-t-on les qualités nutritives de la plante ?

Pour être sûr que le consommateur ne perde pas au change. Le fabricant doit apporter la preuve que son aliment présente les mêmes qualités nutritionnelles que l'aliment auquel il pourrait se substituer : un soja OGM doit présenter des teneurs en protéines équivalentes aux sojas conventionnels. La teneur des OGM en plusieurs dizaines de composés, dont la liste est établie par l'OCDE, est donc analysée. La liste comprend des protéines, des glucides, des lipides, des vitamines, des minéraux, des toxines naturelles, des allergènes et des métabolites connus.

Le plus souvent, ces études montrent qu'en dehors des protéines exprimées par le ou les gènes d'intérêt, l'OGM a une valeur nutritionnelle comparable à celle des variétés non OGM. Mais lorsque ce n'est pas le cas, le fabricant doit faire la preuve que ces différences nutritionnelles n'ont pas d'impact important sur le consommateur, ou peuvent être facilement comblées.

4 Vérifie-t-on leur toxicité ?

Oui, au cœur du dossier d'autorisation des OGM se trouve la question de leur éventuelle toxicité. Les organismes comparateurs conventionnels étant considérés comme sains et connus, seule la toxicité des différences notées dans la composition de l'OGM avec ces organismes comparateurs est évaluée. Ainsi, une protéine retrouvée dans l'OGM en quantité nettement supérieure à ce que l'on trouve dans les variétés traditionnelles est étudiée, ainsi que ses produits de dégradation.

Le plus souvent, ces protéines sont déjà connues, et les soupçons de toxicité sont écartés par l'analyse d'études plus anciennes. Éventuellement, ce travail peut être complété par des études en bioinformatique : des logiciels étudient la structure moléculaire de la protéine nouvellement exprimée ou surexprimée et indiquent les éventuelles similarités avec des toxines ou avec des allergènes connus. Si aucun mécanisme toxique n'est révélé, l'analyse s'arrête là.

Dans les cas où la documentation est limitée, ou bien lorsque des similarités avec des produits toxiques connus sont détectées, le fabricant doit évaluer le risque sur des animaux de laboratoire. Le protocole expérimental consiste à nourrir ces cobayes avec les protéines suspectes pendant un mois et avec l'OGM entier pendant trois mois, à des doses correspondant aux doses maximales susceptibles d'être ingérées. Les effets toxicologiques de ce régime sont alors observés, parmi une liste d'effets possibles définie par l'OCDE : effets sur la composition du sang, sur la reproduction, apparition de maladies, etc.

Pour être statistiquement valables, les expériences à 3 mois doivent inclure, dans chaque groupe, au moins 10 animaux de chaque sexe. Ces études n'étant effectuées que chez l'animal, leurs résultats seront extrapolés chez l'homme avec une certaine marge d'incertitude. Quant aux effets à long terme, ils ne sont pas testés, mais des arguments qui permettent de les écarter doivent être avancés.

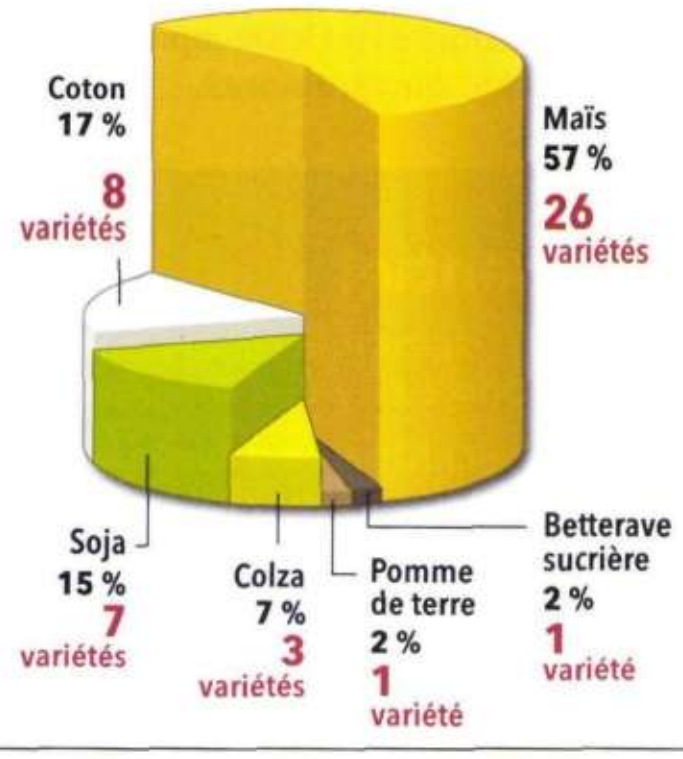
5 Teste-t-on aussi le risque d'allergie ?

L'allergie est une réaction pathologique du système de défense immunitaire de certaines personnes à une substance, l'allergène, qui n'en suscite pas chez la plupart des gens. Chez les personnes allergiques, une infime quantité d'allergène peut provoquer des symptômes allant de l'urticaire ou de la crise d'asthme à la mort par arrêt cardiaque. La plupart des allergènes sont des protéines ou des produits de leur dégradation. Ces allergènes étant déjà bien répertoriés, les études d'allergénicité se bornent le plus souvent à comparer les protéines nouvelles, ou nouvellement surexprimées, de l'OGM avec les allergènes connus recensés dans les banques de données.

Si ni l'organisme parent ni les protéines nouvellement exprimées dans l'OGM n'ont de similitudes avec des allergènes connus, l'analyse s'arrête là. Si ces protéines issues de la manipulation présentent des similitudes sur au moins 35 % de leur longueur, des expériences sont exigées. Ces expériences concernent soit les protéines suspec-

VARIÉTÉS TRANSGÉNIQUES AUTORISÉES PAR L'UNION EUROPÉENNE

QUARANTE-SIX SORTES de plantes génétiquement modifiées sont actuellement autorisées dans l'Union européenne pour l'alimentation humaine et animale, dont 26 maïs (57 % du total). À l'exception de la pomme de terre Amflora, elles sont tolérantes à un herbicide, résistantes à des insectes, ou les deux. Seules trois d'entre elles sont également autorisées pour la culture : deux maïs et la pomme de terre Amflora.



© INFOGRAPHIE B. BOURGEOIS - SOURCE : HTTP://TINYURL.COM/AUTORISATIONS-OGM

Différents riz transgéniques (ici, une variété d'Aventis Crop Science) sont en cours de développement dans plusieurs pays. Aucun n'a pour l'instant reçu d'autorisation de mise sur le marché. © STEPHAN ELLERINGMANN/LAIF-REA

tes, soit l'OGM entier s'il apparaît que l'organisme parent exprimait déjà des allergènes à très faible dose (c'est le cas par exemple du blé).

Le protocole opératoire est assez simple : il existe des banques de sérums de personnes allergiques. Ces sérums contiennent des anticorps capables de se lier aux allergènes auxquels ils sont sensibles. Il s'agit donc de vérifier que les sérums ne réagissent pas avec les extraits suspects.

6 Pourquoi examine-t-on aussi les effets environnementaux ?

La culture d'OGM en plein champ est l'aspect des OGM qui suscite le plus d'inquiétude chez les spécialistes (bien plus que leur éventuelle toxicité pour les consommateurs). Si les semenciers argumentent que les OGM présentent plutôt des avantages pour l'environnement (utilisation de moins de pesticides notamment), ils ont cependant l'obligation d'identifier dans quelle mesure leur dissémination affecte les écosystèmes.

La possible diffusion dans l'environnement des gènes introduits artificiellement constitue un premier risque. Des espèces sauvages pourraient en effet devenir tolérantes à un herbicide ou résistantes à un ravageur, par croisement avec un OGM porteur de ces traits. Le risque de dissémination de ces gènes est d'autant plus grand qu'ils donnent à l'organisme qui les porte un « avantage sélectif », atout dans la compétition qui les oppose aux autres plantes dans la quête d'espace et de nourriture. Les plantes résistantes à un ravageur, par exemple, survivent en plus grand nombre que leurs concurrentes lors d'une infestation, ont une descendance plus nombreuse, et, de génération en génération, conduisent ces concurrentes à la disparition.

Les semenciers doivent donc déterminer dans un premier temps, sous serre et en plein champ, si la plante génétiquement modifiée présente un tel avantage sélectif sur les autres plantes. Ils doivent ensuite évaluer sa capacité à survivre à l'hiver dans nos contrées (et donc à polluer au printemps un champ qui porterait d'autres végétaux). Enfin, ils doivent rechercher de quelles autres plantes elle est assez proche pour pouvoir s'hybrider (et par conséquent échanger des gènes), et tester la réalité de ce potentiel d'hybridation au laboratoire. Si les essais montrent que des croisements entre l'OGM et une plante non OGM sont possibles, il leur faudra encore vérifier, en plein champ, si l'hybride a acquis un avantage sélectif sur les plantes de son environnement.

Le cas de plantes OGM produisant un insecticide présente un autre type de risques. Sur le ravageur ciblé tout d'abord : il peut conduire à l'apparition de ravageurs résistants à cet insecticide. Deux cas de ravageurs devenus résistants à l'insecticide produit par des maïs OGM ont d'ores et déjà été rapportés : le premier concerne des larves de *Bussolea fusca*, insecte foreur de maïs, en Afrique du Sud et le second des larves du papillon *Spodoptera frugiperda*, à Porto Rico. L'OGM peut aussi perturber des organismes qu'il ne cible pas *a priori* (vers, bactéries, abeilles...) ou donner des opportunités d'expansion à des nuisibles qui profiteraient de la disparition du ravageur ciblé. L'impact sur les populations d'une sélection supposée représentative de ces différents organismes doit être évalué, en serre et en plein champ.

Enfin, l'impact de la culture d'OGM sur l'environnement peut aussi passer par des modifications plus difficiles à évaluer. Ainsi, un agriculteur débarrassé de l'inquiétude liée à l'invasion de pestes et des mauvaises herbes peut être tenté d'abandonner, ne serait-ce que partiellement, certaines techniques traditionnelles, comme la rotation des cultures ou le labour. Or, ce changement de pratiques modifie la structure des sols, et peut avoir un impact sur les populations de vers de terre, sur la composition chimique des sols, etc. Même si les textes indiquent que cet aspect doit être envisagé, ils n'imposent aucun outil pour cela.

De la même manière, ils n'évoquent que vaguement la nécessité d'observer d'éventuels impacts négatifs des cultures d'OGM sur la santé des riverains, hommes ou animaux. Dans la pratique, aucun test dans ce sens n'est exigé. Il faut dire que, jusqu'à présent, seules deux variétés de maïs OGM ont reçu une autorisation de mise en culture en Europe. ■

5 • Des étiquettes pour plus de transparence

Depuis juillet dernier, on peut trouver en France des produits alimentaires étiquetés « sans OGM », et d'autres portant la mention « avec OGM ». Ces indications recouvrent des réalités définies très précisément.

PAR **Marine Cygler,**
journaliste.

Comment savoir si un poulet a été nourri ou non avec du maïs transgénique ? Si une huile d'assaisonnement provient ou non de colza génétiquement modifié ? En lisant les étiquettes de ces produits. Depuis 1997, un règlement européen, révisé en 2003, rend obligatoire la mention « avec OGM » lorsqu'un aliment en contient.

Mieux : en France, le 1er juillet 2012, un décret définissant des règles d'étiquetage pour les fabricants souhaitant apposer la mention « sans OGM » est entré en vigueur. Il unifie et encadre les initiatives prises depuis deux ans déjà par certaines enseignes de grande distribution. Les consommateurs sont ainsi en situation de choisir d'acheter des produits « avec OGM » ou « sans OGM ». Mais quelles quantités d'OGM y a-t-il réellement dans les premiers ? Et les seconds en sont-ils totalement exempts ?

Dans l'Union européenne, plusieurs variétés de maïs transgénique, de colza, de soja et de coton, ainsi qu'une variété de betterave sont autorisées pour l'alimentation humaine et animale. Lorsqu'elles sont utilisées, il est rare que l'OGM soit vendu « tel quel ». Ce n'est le cas que du maïs, sous forme de « maïs doux » pour l'alimentation humaine. À cette exception près, les OGM apparaissent plutôt sous forme de produits transformés (de l'huile de soja ou de colza), en tant qu'ingrédients (par exemple, la farine de maïs de certaines céréales du petit-déjeuner), ou encore, comme additifs (la lécithine E322 issue du soja) ou supports d'arômes (par exemple l'amidon dérivé du maïs).

Seuil par ingrédient. Si la présence d'OGM est une volonté du fabricant, les choses sont simples : il indique « avec OGM », quelle que soit la proportion de ces derniers. Si, au contraire, il ne souhaite pas que cette mention figure sur l'un de ses produits, il doit veiller à ce qu'aucun des ingrédients de celui-ci ne contienne plus de 0,9 % d'OGM de façon accidentelle. Ainsi, pour une huile constituée d'un mélange d'huile de tournesol, de colza et de maïs, si la fraction d'huile de colza contient plus de 0,9 % de colza transgénique, l'étiquette doit le mentionner. En revanche, si la fraction d'huile de colza contient fortuitement 0,3 % de colza transgénique, et que la frac-

LE MAÏS DANS L'ALIMENTATION HUMAINE

Nous ne consommons directement du maïs que sous forme de maïs doux et de pétales. On en trouve toutefois dans de nombreux aliments sous des formes transformées (huile, amidon, fécule, semoule), ainsi que dans l'alimentation animale. La teneur en OGM de tous ces produits doit donc être contrôlée.

© INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

tion d'huile de maïs contient, toujours de façon fortuite, 0,8 % de maïs transgénique, le fabricant est dispensé d'étiquetage spécifique, aucun des ingrédients ne dépassant le seuil de 0,9 %.

Ces contaminations fortuites peuvent arriver à différentes étapes de la production des aliments. Dans les champs, pollens et graines peuvent passer d'une culture OGM à une culture voisine non OGM. La récolte des grains, leur stockage, leur transport et la transformation en produit fini sont aussi autant d'occasions où un mélange involontaire peut se produire.

Comment s'assure-t-on que le seuil de 0,9 % n'est pas dépassé ? *« Les entreprises des filières d'alimentation fixent à leurs fournisseurs de végétaux "bruts" un seuil de 0,1 %, ce qui leur laisse une marge de sécurité »*, explique Yves Bertheau, qui a coordonné le projet européen Co-Extra sur la coexistence et la traçabilité des filières OGM et non OGM. Pour contrôler l'absence d'OGM, les producteurs agricoles utilisent des tests de détection d'ADN. Puis ils quantifient la teneur OGM en « unité ADN » : il s'agit du pourcentage de gènes étrangers par rapport au nombre de gènes de référence de la plante considérée.

Unité ADN. La « teneur OGM » d'un grain dépend donc du nombre de caractères génétiquement modifiés insérés dans le génome de la plante. *« La tendance est d'introduire plusieurs nouveaux gènes. Avec l'"unité ADN", plus le nombre des gènes est important, plus la teneur OGM augmente »*, commente Yves Bertheau. Résistant aux différents procédés industriels, l'ADN transgénique peut être quantifié aussi dans les produits transformés. Les tests sont toutefois plus difficiles à réaliser, et le contrôle est donc concentré avant les différentes transformations.

Ce sont donc d'abord les végétaux qui sont étiquetés. Supposons qu'une entreprise alimentaire importe du Brésil du soja non transgénique, alors que le soja est aujourd'hui majoritairement transgénique sur le marché mondial. Cette entreprise demande alors des documents officiels contenant entre autres une certification des champs « sans OGM » et de leurs alentours. Quand le soja arrive à Rotterdam ou à Brest, il a déjà été analysé deux fois au cours de la traversée en cargo. *« Ensuite, au moment de sa transformation en huile, par exemple, le fabricant procède comme dans une usine où l'on fabrique des aliments sans traces de cacahuètes, en parallèle avec des aliments contenant des cacahuètes,* explique Yves Bertheau. *Il réalise des analyses aux points critiques des chaînes de production. »*

© BIGOT/ANDIA.FR

La mention « sans OGM » sur cette boîte de maïs doux indique que les grains proviennent pour moins de 0,1 % de plantes transgéniques.

Comment garantir que les étiquetages sont honnêtes ? *« Nous contrôlons les factures, les documents commerciaux, les cahiers des charges, les rapports d'analyses de laboratoire et les attestations des fournisseurs essentiellement auprès des fabricants ou des distributeurs de produits finis »*, explique le service de presse de la direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF). Sur les 99 enquêtes réalisées en 2011, la plupart de façon inopinée, la DGCCRF a procédé à 39 prélèvements pour analyse. *« 12 contenaient des traces d'OGM autorisés : dans un seul cas, cette présence était supérieure au seuil de 0,9 % sans que l'étiquetage du produit n'en fasse état »*, rappelle-t-on à la DGCCRF, peu encline à délivrer des informations aux journalistes.

Réglementation, seuil et contrôle sont donc censés assurer aux consommateurs une information claire. Information insuffisante pour-tant pour les associations de consommateurs, qui ont mis en avant le problème de l'alimentation animale. Qu'en est-il en effet du poulet nourri au maïs ou au soja ? D'après la réglementation européenne, sa viande et ses œufs n'ont pas à être étiquetés, quand bien même son >>>

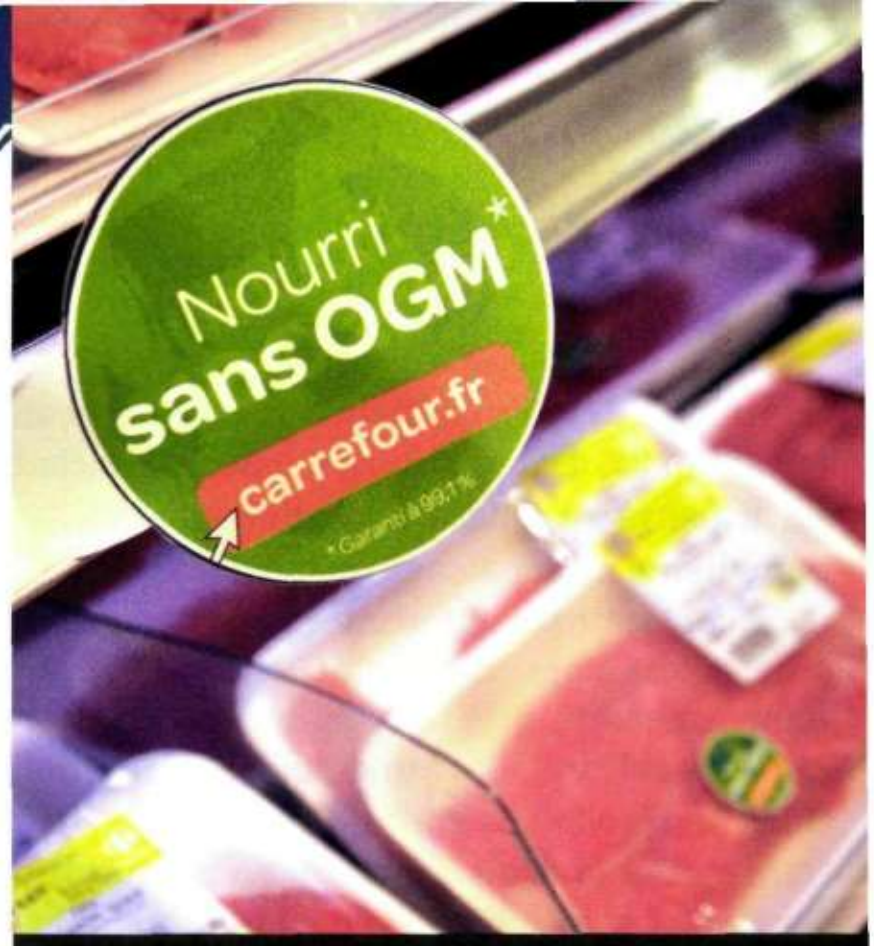
L'essentiel

> DEPUIS 1997, les aliments contenant plus de 0,9 % d'OGM doivent en porter la mention en Europe.

> LES INDUSTRIELS de l'agroalimentaire surveillent leurs produits tout au long de la chaîne s'ils veulent éviter cette mention.

> EN FRANCE, les conditions pour indiquer qu'un produit est « sans OGM » sont aussi réglementées depuis juillet 2012.

Des étiquettes pour plus de transparence



Dès 2010, des enseignes de la grande distribution avaient pris l'initiative de mentionner des seuils d'OGM dans l'alimentation des animaux de boucherie qu'elles commercialisaient. Cette pratique est désormais encadrée par la loi. © PASCAL SITTLER/RE

»»» alimentation contiendrait des OGM. De même impossible de distinguer du lait provenant d'une vache nourrie aux OGM de celui issu d'une vache dont l'alimentation est garantie sans OGM. *« Or, la loi du 25 juin 2008 affirme la liberté du consommateur à pouvoir consommer "sans OGM" »*, rappelle Christine Noiville, présidente du Comité éthique, économique et social du Haut Conseil des biotechnologies.

Quatre labels. Saisi en 2008 pour clarifier cette notion de « sans OGM », ce comité s'est trouvé face à une tâche complexe : il est en effet impossible techniquement de garantir une absence absolue d'OGM. *« Nous aurions pu considérer qu'était "sans OGM" tout ce qui n'avait pas à être étiqueté OGM,* dit Christine Noiville. *Mais nous avons choisi de retenir deux seuils, en fonction des aliments. »* En pratique, le décret du 30 janvier 2012 entré en vigueur en juillet dernier retient quatre cas différents de labels « sans OGM.

Pour les végétaux, une boîte de maïs doux par exemple, l'étiquette «sans OGM» est permise pour une présence fortuite de maïs transgénique inférieure à 0,1 %. Pour la viande, le lait et les œufs, la situation se complique.

En effet, pour nourrir leur bétail, ou leurs volailles, les éleveurs importent beaucoup de soja de pays où il est devenu difficile d'obtenir du soja garanti sans OGM. *« Dans la filière animale, les producteurs n'ont donc pas les moyens, en l'état, de se plier au seuil de 0,1 % »*, indique Christine Noiville. Du coup, deux types d'étiquettes, « issus d'animaux nourris sans OGM (0,1 %) » et «issus d'animaux nourris sans OGM (0,9 %) » sont autorisées selon que les animaux sont nourris avec du maïs, du soja ou du colza contenant moins de 0,1 % ou moins de 0,9 % d'OGM. Un quatrième cas de figure, enfin, concerne le miel, le pollen et la gelée royale : l'allégation « sans OGM » est permise lorsque ces produits sont issus de ruches situées à plus de 3 kilomètres de cultures génétiquement modifiées.

Cette complexité ne fera que s'accroître si l'Europe autorise largement les cultures OGM. Pour que l'allégation « sans OGM» et le choix du consommateur continuent, il faudrait dès à présent trouver les moyens d'une coexistence des deux filières OGM et conventionnelle. Et s'assurer que la séparation soit réalisée dès l'amont de la filière, c'est-à-dire dans les champs. ■

Pour en savoir plus

Livres et revues

> Sylvie Berthier et Valérie Péan, *Les OGM à l'épreuve des arguments,* éditions Quæ, 2011.

> Birgit Müller, *La Bataille des OGM : combat vital ou d'arrière-garde ?,* Ellipses, 2008.

> Yves Chupeau et Jacques Testart, *OGM : quels risques ?,* éditions Prométhée, coll. « Pour ou contre », 2007.

> Jean-Paul Oury, *La Querelle des OGM,* PUF, 2006.

> Hervé Kempf, *La Guerre secrète des OGM,* Seuil, 2003.

La Recherche a publié

> Thomas Hartung, « Nous devons construire une nouvelle toxicologie », juin 2010, p. 76.

> Yves Bertheau, « L'Europe est-elle prête pour les OGM ? », octobre 2009, p. 76.

> Ursula Lenseele, « Les OGM végétaux », Hors-Série La Biologie en 18 mots-clés, septembre 2006, p. 118.

> Antoine Messéan, « Quelle coexistence entre OGM et non-OGM ? », mars 2006, p. 62.

> Yves Chupeau et Pierre-Henri Gouyon, « Les OGM, graines de réflexion », janvier 2004, p. 73.

> Dossier « Les OGM face aux réalités agricoles », novembre 2003, p. 44.

Web

> **http://tinyurl.com/ogm-ehess**

> « Les OGM entre régulation économique et critique radicale », par Francis Chateauraynaud, Antoine Bernard de Raymond, Marie-Angèle Hermitte et Gilles Tétard.

> **http://tinyurl.com/HC-biotech** Le Haut Conseil des biotechnologies.

> **www.anses.fr** L'Agence nationale de sécurité sanitaire. Cliquer sur «Alimentation humaine», puis sur « OGM ».

> **http://tinyurl.com/autorisations-OGM** Le registre des OGM autorisés en Europe, sur le site de la Commission européenne.

> **http://tinyurl.com/bertheau-ogm** Le 12 octobre 2009, Yves Bertheau répondait en direct aux questions des lecteurs de *La Recherche* sur les OGM.

l'Etudiant

Conférence des présidents d'université

Sous le patronage de

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

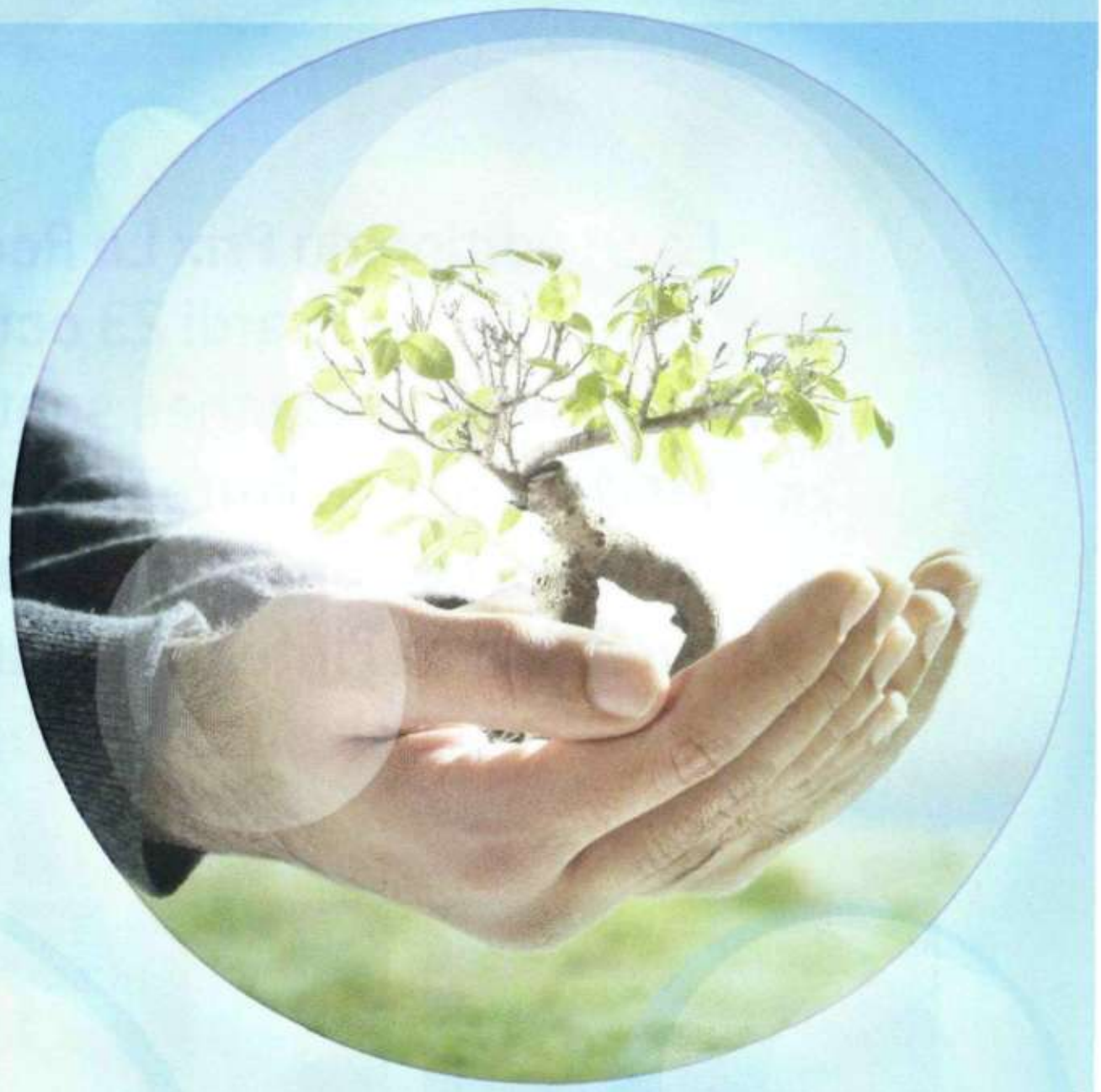
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

SALON des FORMATIONS & des MÉTIERS de L'ENVIRONNEMENT

15 & 16 DÉCEMBRE

Samedi 15 décembre
de 10 h 00 à 18 h 00.

Dimanche 16 décembre
de 10 h 00 à 17 h 00.



PARIS

Espace Champerret
Hall B

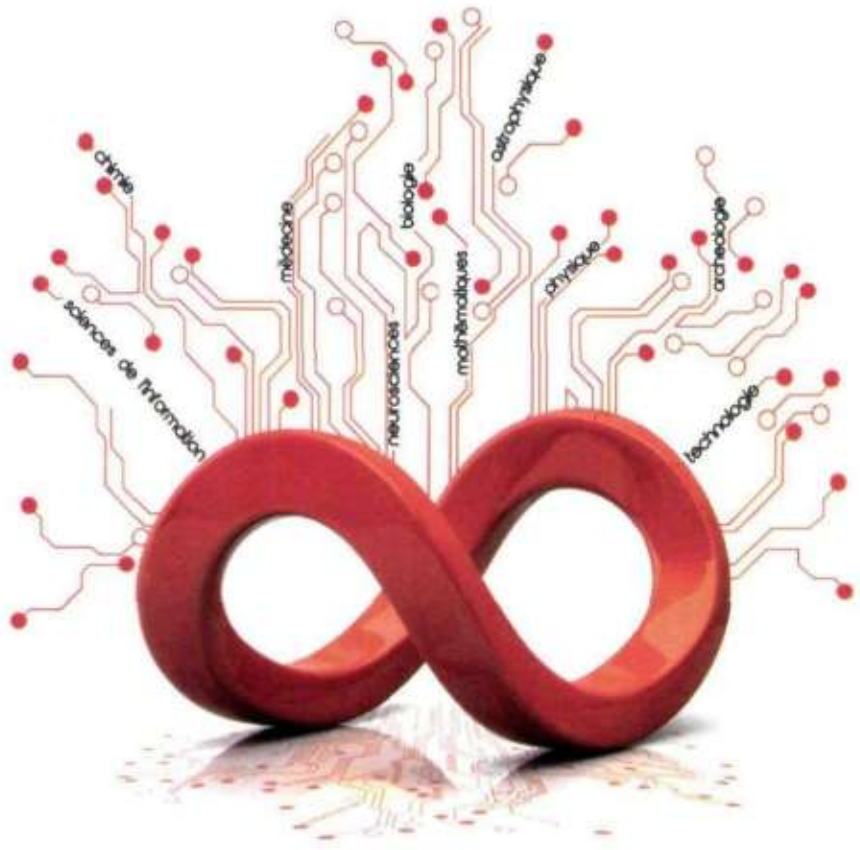
UNESCO · A NOUS PARIS · L'EXPRESS · L'Expansion · NE PLANETE POUR CHANGER D'ERE · Direct Matin · NRJ PARIS 100.3 HIT MUSIC ONLY !

Gagnez du temps : invitations gratuites sur letudiant.fr

Le Prix LA Recherche 2012

9e édition

La science en avance



La 9e édition du Prix La Recherche a eu lieu le mardi 23 octobre.
Plus de 450 personnes sont venues découvrir les 12 équipes lauréates récompensées, à cette occasion, au musée du quai Branly.
Retrouvez l'intégralité du palmarès sur
www.leprixlarecherche.com

En partenariat avec

ANDRA
MINISTÈRE DE LA DÉFENSE
DGA
DUNOD ÉDITEUR DE SAVOIRS
RENAULT
RITME
SNCF
L'EXPRESS

Aline Richard
LA RECHERCHE

Boris Popov
REPRÉSENTANT LAURÉATS
PHYSIQUE

Emmanuel Thomé
REPRÉSENTANT LAURÉATS
SCIENCES DE L'INFORMATION

Esther Lopez-Montalvo
LAURÉATE PRIX SPÉCIAL

François-Xavier Robert
EDITIONS DUNOD

Geneviève Doreau
REPRÉSENTANTE LAURÉATS
TECHNOLOGIE

Jacques Hébrard
RENAULT

Jean-Jacques Thomas
SNCF

Jean-Pierre Devaux
DGA

Jules Hoffmann
PRESIDENT DU JURY

Manolo Gouy
REPRÉSENTANT LAURÉATS
BIOLOGIE

Marie-Claude Dupuis
ANDRA

Mathieu Vidard
FRANCE INTER

Matthieu Poux
REPRÉSENTANT LAURÉATS
ARCHÉOLOGIE

Olivier Jacquet
REPRÉSANTANT LAURÉATS
CHIMIE

Pierre Rampal
REPRÉSENTANT LAURÉATS
ENVIRONNEMENT

Sébastien Charnoz
REPRÉSENTANT LAURÉATS
ASTROPHYSIQUE

Serge Cantat
REPRÉSENTANT LAURÉATS
MATHÉMATIQUES

Thierry Berton
RITME

Thierry Conroy
REPRÉSENTANT LAURÉATS
MÉDECINE

Véronique Izard
REPRÉSENTANTE LAURÉATS
NEUROSCIENCES

Vincent Olivier
L'EXPRESS

Copyright : Thomas Salva - Doc Side Stories

Physique

La fragilité des réseaux couplés

Les interconnexions entre les réseaux de transport, d'électricité ou de télécommunications produisent des instabilités inattendues qui peuvent devenir catastrophiques.

PAR **Marc Barthelemy,**
chercheur à l'Institut de physique théorique du CEA et du CNRS (IPhT), à Saclay.

L'essentiel

- **LA ROBUSTESSE d'un réseau vis-à-vis de pannes aléatoires dépend de sa structure.**
- **UN SYSTÈME de deux réseaux couplés est plus fragile que les deux réseaux pris indépendamment.**
- **IL EXISTE une façon optimale d'interconnecter deux réseaux pour qu'ils fonctionnent efficacement ensemble sans être trop sensibles aux pannes.**

Fin juillet 2012, en Inde, une panne géante du réseau électrique a touché plus de 600 millions de personnes sur deux jours. Elle a bloqué les trains, les avions et la distribution de l'eau. Ce n'est hélas que le dernier exemple en date d'une panne en chaîne résultant du couplage de plusieurs réseaux vitaux de nos sociétés modernes.

L'archétype de ces événements reste la panne générale du réseau électrique italien du 27 septembre 2003. Pendant trois heures, presque tout le pays a été privé d'électricité. Cette panne a entraîné des dysfonctionnements sur d'autres réseaux, en particulier sur ceux des télécommunications, et des transports ferroviaires et aériens. Surtout, pendant les deux jours qui ont suivi, le réseau a encore subi des pannes partielles : la remise en route du réseau électrique a été longue, car le réseau de télécommunications ne fonctionnait pas, faute d'électricité.

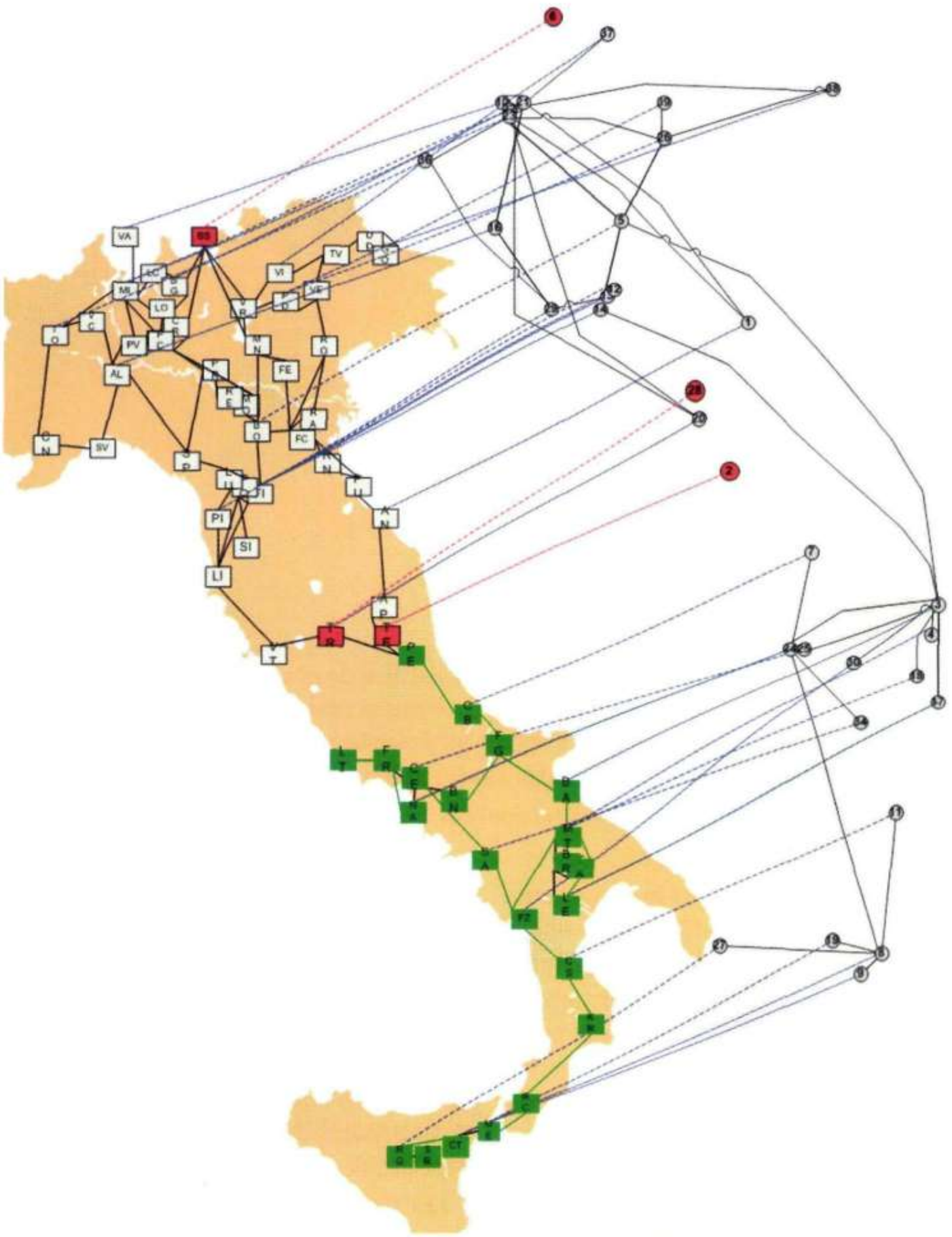
Vulnérabilité accrue. Aiguillonnés notamment par cette panne italienne de 2003, des physiciens théoriciens se sont appliqués depuis plusieurs années à comprendre la stabilité des réseaux et l'influence de leurs couplages sur leur robustesse [1]. Les modèles qu'ils ont élaborés ont non seulement confirmé la fragilité des réseaux couplés, mais ils ont aussi permis de comprendre comment la dynamique de ces infrastructures vitales évolue selon les structures des réseaux sous-jacents. En particulier, ces travaux ont révélé que la vulnérabilité d'un système formé de plusieurs réseaux est souvent supérieure à la somme des vulnérabilités de ceux-ci pris indépendamment.

Pour aborder ces questions, mieux vaut commencer par étudier le cas le plus simple, celui d'un réseau isolé. Un réseau est modélisé par des nœuds connectés entre eux. La répartition des connexions peut aller d'un réseau aléatoire, où la plupart des nœuds ont un nombre de liens proche de la moyenne (on utilise classiquement dans ce cas un modèle particulier dit de « Erdös-Renyi »), à un réseau très hétérogène, où des nœuds très connectés (les « hubs ») coexistent avec des nœuds peu connectés. Peut-on prédire le comportement et la robustesse d'un réseau vis-à-vis des pannes selon ces différentes structures ?

L'un des résultats phares de ces travaux est que les réseaux très hétérogènes résistent bien aux pannes aléatoires. C'est le cas du réseau Internet : les pannes de routeurs, comme il s'en produit presque quotidiennement, n'affectent en général pas le comportement global du réseau. De même, et dans ce cas on peut le déplorer, la réduction partielle du trafic dans quelques aéroports n'arrête pas la propagation de pandémies.

À l'inverse, ces réseaux sont très sensibles à des attaques ciblées sur les hubs. Sur Internet, l'arrêt d'un des nœuds centraux provoquerait de fortes perturbations du réseau. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la localisation géographique de ces routeurs essentiels est maintenue secrète.

Comment modéliser ces résultats ? Pour simuler l'effet de pannes aléatoires sur l'intégrité du système, les physiciens ont utilisé des modèles de percolation, très répandus en physique statistique (pour étudier la propagation des fissures dans les matériaux par exemple). Sur un réseau, on inactive au hasard une fraction de plus en plus grande de nœuds. En même temps, on mesure, en fonction de cette fraction, la proportion de nœuds qui appartient au plus grand amas connecté.



Le réseau électrique italien (sur la carte) est couplé au réseau Internet (figuré à droite). La modélisation d'une panne géante qui a touché ce pays en 2003 a révélé que celle-ci s'est propagée parce que des centrales électriques inopérantes (en rouge) ont fait « tomber » les serveurs Internet auxquels elles étaient liées. © S. BULDYREV, R. PARSHANI, G. PAUL, E. STANLEY ET S. HAVLIN, D'APRÈS *NATURE, 464*, 1025-1028 (15 AVRIL 2010).

Le résultat essentiel de ces modélisations est qu'au-delà d'une fraction critique de nœuds inactivés le réseau est désagrégé : il n'est plus constitué que de petits amas déconnectés. Autrement dit, sous le seuil, on peut toujours trouver un chemin qui relie deux nœuds pris au hasard. Au-delà du seuil, ce n'est plus possible : le réseau devient un ensemble d'amas de petite taille, déconnectés les uns des autres.

La valeur de ce seuil dépend de la structure de chaque réseau. Plus le réseau est hétérogène, plus il est résistant aux attaques aléatoires. À la limite, pour des réseaux très hétérogènes, où la distribution du nombre de connexions suit une loi de puissance* (les réseaux « sans échelle »), cette fraction critique vaut 1. Ces réseaux sont très résistants aux attaques aléatoires, puisqu'il faut mettre en panne tous leurs nœuds pour les désagréger.

* **UNE LOI DE PUISSANCE** s'applique à la distribution du nombre de connexions lorsque le nombre de nœuds ayant n connexions est proportionnel à n^{-k}, où k est un nombre positif.

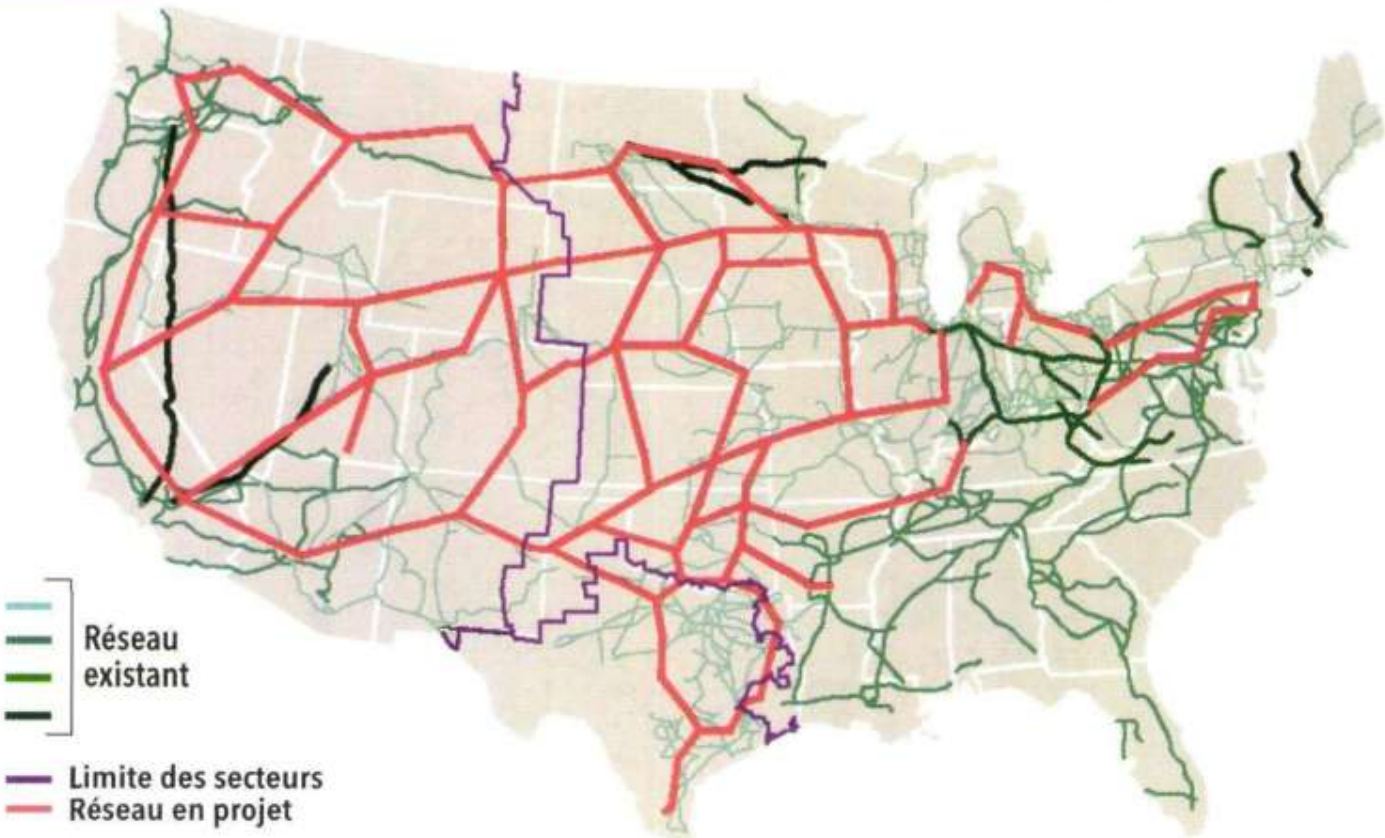
En généralisant ce modèle au cas de deux réseaux interdépendants, on peut mesurer comment un système couplé résiste à une fraction croissante de pannes. En 2010, Sergey Buldyrev et ses collègues de l'université de Boston ont considéré le cas des réseaux couplés d'électricité et de télécommunication en Italie, ainsi que toute une classe de réseaux couplés avec différentes structures de réseaux aléatoires (sans échelle/sans échelle, Erdös-Renyi/Erdös-Renyi). Dans ces systèmes couplés, chaque nœud d'un réseau est associé à un nœud de l'autre réseau. Lorsqu'un nœud tombe en panne, son *alter ego* dans l'autre réseau est aussi défaillant (figure ci-contre) [2].

Rupture abrupte. Le principal résultat de ces travaux est qu'il existe aussi un seuil, mais en général bien inférieur à celui obtenu pour un réseau isolé. De surcroît, la rupture du système est abrupte, contrairement au cas d'un réseau isolé. Autrement dit, ces systèmes de réseaux couplés sont non seulement plus fragiles, mais lâchent d'un coup, sans prévenir. Comme nous l'avons vu, dans le cas des réseaux isolés, la transition est douce : à mesure que le nombre de pannes augmente, le réseau marche moins bien, mais jusqu'au seuil, il continue à fonctionner. Dans les réseaux couplés, le couplage créé une instabilité supplémentaire qui aboutit à une avalanche énorme de pannes, une sorte d'instabilité, et le système s'écroule d'un coup.

Ainsi un réseau électrique est-il bien plus fragile que ce que l'on avait imaginé si on le couple avec un réseau de contrôle et de communication. Cette remarque prend toute son importance dans le contexte actuel de mise en place des réseaux de distribution d'électricité intelligents (les « smart grid »). Ceux-ci visent à utiliser les techniques informatiques et de télécommunications pour optimiser la production, la distribution et la consommation électrique. Existe-t-il une manière de coupler les réseaux de manière à les rendre plus stables ?

Pour aborder le rôle de l'intensité de couplage entre deux réseaux sur la stabilité, Charlie Brummitt et ses collègues de l'université de Californie, à Davis, ›››

La fragilité des réseaux couplés



Le réseau électrique des États-Unis est constitué de plusieurs sous-réseaux (en vert). Le couplage avec ceux-ci d'un nouveau réseau (en rouge), destiné à transporter l'électricité produite par les éoliennes, augmentera nécessairement le risque de pannes. Des modélisations préalables permettent toutefois de minimiser ce risque. © CHARLES BRUMMITT, RAISSA D'SOUZA, E.A. LEICHT, *PNAS, 109*, E680, 2012.

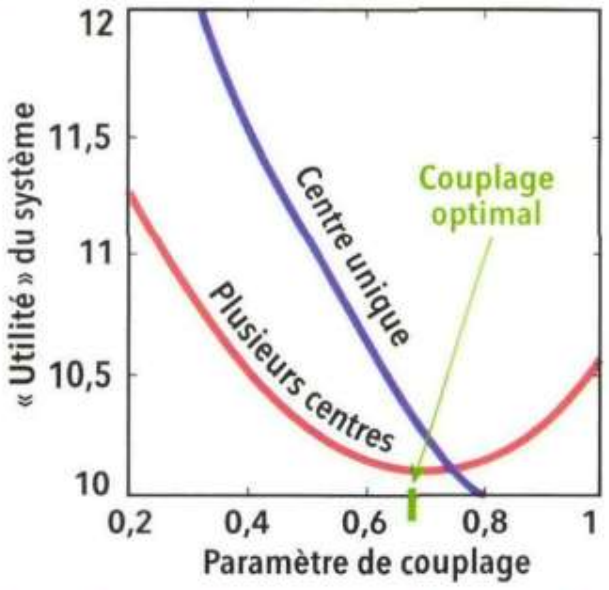
>>> ont récemment utilisé le modèle informatique classique du tas de sable. Dans le cas d'un réseau couplé, on considère que chaque nœud d'un réseau a une capacité en « grains de sable » (en pannes) égale au nombre de ses voisins. Quand un nœud reçoit plus de grains de sable que sa capacité, une « avalanche » se produit, et les grains se répartissent sur les nœuds voisins du réseau.

Dissiper les avalanches. Ils ont appliqué cette représentation simplifiée des avalanches de pannes à plusieurs réseaux couplés théoriques, ainsi qu'à différents réseaux électriques régionaux aux États-Unis. Ils ont alors observé que, lorsque les interconnexions entre les deux réseaux sont peu nombreuses, la dissipation des avalanches se fait bien, et la probabilité d'observer une grande avalanche est plus faible. Quand le nombre d'interconnexions devient grand, il y a beaucoup de boucles de rétroaction qui créent une instabilité, ce qui augmente la probabilité d'apparition de grandes avalanches. Autrement dit, il existe un couplage optimal, dont la valeur dépend du système de réseaux étudié, qui minimise la probabilité d'avoir une grande avalanche qui mettra en panne l'ensemble des réseaux [3]. Pour deux réseaux modèles de 2 000 nœuds chacun – taille analogue à celle de certains réseaux réels –, cette valeur optimale tourne autour de 7 % d'interconnexions entre les réseaux. Avec mon collègue Richard Morris, nous avons mis en évidence un tel couplage optimal dans des réseaux de transport (lire « Les réseaux de transport », ci-dessous).

Les réseaux réels sont tous couplés. Ces résultats montrent que l'on ne peut pas raisonner comme s'ils formaient ensemble un grand réseau unique : les couplages augmentent leur instabilité. Mais nous savons désormais aussi qu'il existe un couplage optimal. Il faut juste le bon nombre d'interconnexions : avec trop peu de liaisons entre réseaux, le système est inefficace ; s'il y en a trop, les pannes peuvent revenir plus facilement et bloquer complètement le réseau. Il est donc vital d'optimiser les systèmes de réseaux lors de leur conception, afin qu'ils restent sous le seuil critique tout en maximisant leur efficacité ordinaire. Sans quoi leur enchevêtrement croissant risque de conduire à des effets catastrophiques et inattendus. ■

Les réseaux de transport

Nous avons étudié le couplage d'un mode de transport rapide (métro ou train) et d'un mode plus lent (voiture) [1]. Le couplage entre ces deux réseaux est quantifié par la fraction d'individus utilisant les deux modes de transport pour un même trajet. On calcule alors l'« utilité » du système, paramètre incluant la congestion et le temps de transport, en fonction du couplage pour deux structures (ci-contre). Lorsque les individus se déplacent vers un centre unique, typique d'une ville avec un seul centre d'affaires, le régime optimal est obtenu pour un maximum d'individus prenant le mode rapide (en bleu). En revanche, lorsqu'on a une structure plus polycentrique, avec 3 ou 4 centres d'affaires où les gens vont travailler par exemple, la congestion du trafic routier autour des nœuds de connexion (les stations de métro ou de train) peut l'emporter, de sorte que le couplage optimal est obtenu pour une fraction plus faible d'individus empruntant le réseau de transport rapide (en rouge).



[1] R. Morris et M. Barthelemy, *Phys. Rev. Lett., 109*, 128703, 2012.
[1] P. Pederson *et al.*, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID. Report INL/EXT-06-11464, 2006.
[2] S. Buldyrev *et al.*, *Nature, 464*, 1025, 2010.
[3] C. Brummitt *et al.*, *PNAS, 109*, E680, 2012.

MÉDECINS SANS RENONCEMENT

Lorsque nous opérons une victime de bombardements ou pratiquons une césarienne en urgence dans un camp de réfugiés, nous déployons tous les moyens dont nous disposons pour sauver des vies. En tant que médecins, nous savons être sans renoncement, mais sans vos dons nous ne pouvons être Médecins Sans Frontières.

Devenez donateurs sans frontières sur www.msf.fr

MEDECINS SANS FRONTIERES

MSF-PARIS – Médecins sans Frontières – 8 rue Saint-Sabin – 75011 Paris – © Arnaud Drouart/MSF.

Trois vérités sur la fin du monde

Une prophétie maya annoncerait la fin du monde pour le 21 décembre 2012. Pourquoi cette fable a-t-elle eu autant de succès médiatique ?

PAR Wiktor Stoczkowski
directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales et chercheur au laboratoire d'anthropologie sociale à Paris.

© PIERRE DOLLIN/COMMONS.WIKIMEDIA.ORG

Depuis quelques années un nouveau domaine de savoir attire l'attention des médias et du grand public : la deuxmilledouzeologie. On compte désormais plusieurs centaines de livres qui y sont consacrés, des milliers d'articles dans la presse qui la commentent, et plusieurs centaines de milliers de pages Internet qui en assurent la diffusion. Autrefois connue de quelques rares groupes d'enthousiastes, la deuxmilledouzeologie suscite depuis plusieurs années un retentissement à l'échelle planétaire.

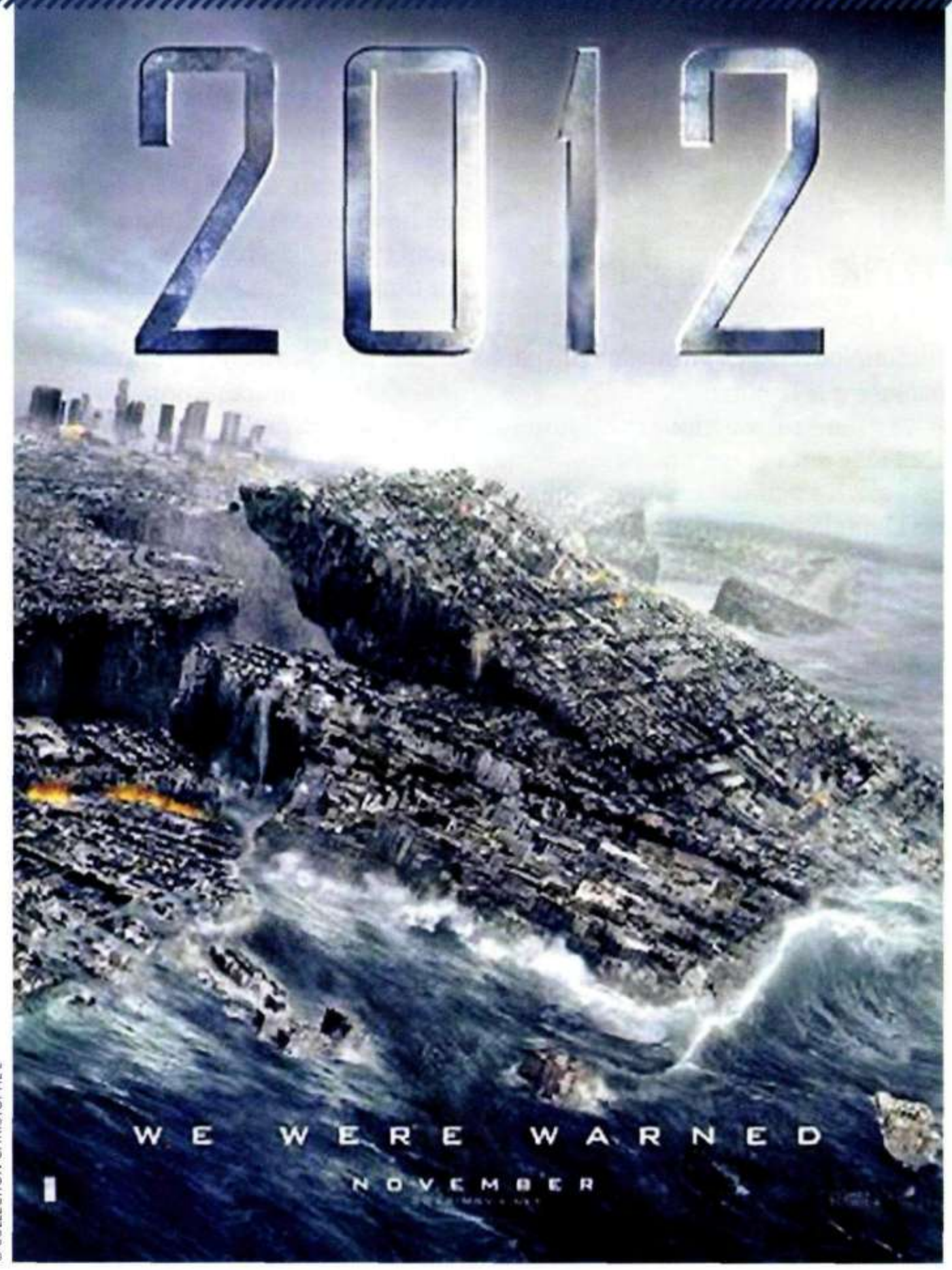
On attribue communément aux deuxmilledouzeologistes trois thèses. Premièrement, une antique prophétie maya annoncerait une conflagration cosmique pour le 21 décembre 2012. Deuxièmement, cette conflagration entraînerait la fin du monde. Troisièmement, le grand écho médiatique que cette prophétie a provoqué serait proportionnel au nombre de gens qui y croient.

Mais qu'affirment les deuxmilledouzeologistes ? Leurs théories sont-elles fondées sur des conceptions mayas ? Ont-ils vraiment réussi sinon à nous convaincre, du moins à nous alarmer par leurs annonces apocalyptiques ? En réalité, la prophétie qu'ils avancent n'a pas été formulée par les Mayas, elle n'annonce pas la fin du monde, et l'intérêt qu'elle suscite tient au fait que la plupart d'entre nous n'y croient pas.

Les Mayas de la période classique (du III^e^ au X^e^ siècle) pensaient que la marche du monde s'inscrivait dans des cycles périodiques, dont le plus long correspondait à environ 5 125 années de notre calendrier grégorien : il devrait s'achever autour de l'an 2012. Pourtant, la fin d'un cycle ne signifiait pas, pour les Mayas, la fin du monde ; ce n'était que la date de fin d'un cycle et le début d'un cycle nouveau. L'ancien monde devait être moins détruit que régénéré, à travers des rites assurant un renouvellement des forces vitales de la société et de la nature.

Ces glyphes mayas, gravés entre le IV^e^ et le XVII^e^ siècle, sont des éléments de calendrier. Selon ce système, la marche du monde s'inscrivait dans des cycles, à la fin desquels celui-ci était régénéré. © AISA/LEEMAGE

Cycle cosmique. L'idée d'associer la fin d'un cycle cosmique à un événement apocalyptique ne vient pas des Mayas anciens, mais de quelques Occidentaux contemporains. Elle a été proposée, à partir des années 1970, par plusieurs auteurs appartenant à la mouvance New Age. Ainsi, le romancier et essayiste américain Frank Waters, dans un ouvrage paru en 1975 sous le titre *Mexico mystique*, a prophétisé que le dieu mexicain



© COLLECTION CHRISTOPHE L

En 2009, pour le film *2012*, la publicité, qui annonçait « nous étions prévenus », se prétendait cautionnée par un institut fictif qui confirmait les prophéties « mayas » de fin du monde.

C'est en 1987 que l'auteur New Age américain José Argüelles a proposé de remplacer le 24 décembre 2011 par le 21 décembre 2012 comme date de la prophétie maya : cette date marquerait un changement dans la conscience humaine, grâce à un faisceau d'énergie émanant du centre de la Voie lactée, qui devait nous aider à « *libérer notre planète de l'influence délétère de la science occidentale* », événement prétendument prévu par les Mayas qui auraient eu pour informateurs une « *race de maîtres galactiques* » extraterrestres [4]. José Argüelles a annoncé l'arrivée sur terre d'ambassadeurs galactiques en 1992-1993 : ils sont en retard, mais Erich von Däniken assure qu'ils nous visiteront immanquablement en décembre 2012.

Christianisme primitif. Il s'agit donc clairement d'une prophétie occidentale, pas d'une prophétie maya. Cette prophétie plonge ses racines dans le terreau du patrimoine culturel de notre tradition. L'idée de fin du monde était omniprésente dans la pensée chrétienne. Le christianisme primitif proclamait que la fin des temps était proche, mais les années passaient sans que l'apocalypse survienne, et les théologiens se sont résolus à renvoyer la fin du monde dans un avenir inconcevablement lointain. Seuls quelques mouvements chrétiens dissidents et fondamentalistes clamaient à l'époque moderne l'imminence de la fin du monde : les anabaptistes au XVI[e] siècle, les quakers au XVII[e], les mormons au XIX[e], ou encore les témoins de Jehova au XX[e] siècle. Ces derniers détiennent un palmarès impressionnant en la matière, ayant déjà annoncé la fin du monde pour 1914, 1915, 1918, 1920, 1925, 1941, 1975 et 1994.

Pourtant, aucun des inventeurs et zélateurs de la deuxmilledouzeologie n'appartient à ces mouvements chrétiens. En revanche, ils entretiennent tous des liens avec les milieux que l'on regroupe habituellement sous l'étiquette de New Age. Le New Age >>>

Quetzalcoatl redescendrait sur terre le 24 décembre 2011, afin de permettre aux humains de se hisser à un niveau supérieur de leur évolution spirituelle [1].

La date était empruntée à un ouvrage de vulgarisation publié en 1966 par l'archéologue américain Michael Coe [2]. Celui-ci avait estimé que décembre 2011 marquera la fin d'un long cycle périodique du calendrier maya et coïncidera, dans le contexte de la guerre froide, avec un conflit nucléaire : en 1966, on était trois ans à peine après la crise des missiles de Cuba, laquelle avait mis le monde au bord d'une telle catastrophe. La prétendue prophétie maya a été rapidement popularisée par le film documentaire *À la recherche des anciens astronautes*, fondé sur le best-seller pseudo-scientifique du Suisse Erich von Däniken, dont la thèse était que les grandes civilisations anciennes, comme celle des Mayas, avaient été créées et ensuite guidées dans leur développement par des visiteurs extraterrestres [3]. Sorti en salles en 1973, le film a été vu par des millions de spectateurs.

L'essentiel

> DEPUIS QUELQUES ANNÉES, l'annonce que la fin du monde aurait lieu à la fin de 2012 a rencontré un écho significatif dans le monde occidental.

> CETTE « PROPHÉTIE » attribuée aux Mayas tire en fait sa source dans la pensée occultiste du XIX[e] siècle et dans le New Age.

> SON SUCCÈS n'est pas lié au fait qu'un grand nombre de gens y croient, au contraire.

Trois vérités sur la fin du monde

>>> est l'un des avatars contemporains de la subculture occultiste, dont l'histoire remonte au XIX[e] siècle. C'est à cette époque que plusieurs penseurs, importants mais peu connus, car situés sur les marges de la haute culture, ont tenté d'élaborer une nouvelle conception du monde, appelée à devenir une alternative à la fois au christianisme et à la science positiviste. Cette vision du monde ambitionnait de redécouvrir les vérités d'une sagesse primordiale, dont les traces se seraient conservées jusqu'à nos jours dans plusieurs traditions religieuses et philosophiques de l'Occident et de l'Orient.

Évolution en spirale. La vision du monde échafaudée au XIX[e] siècle par les occultistes comportait une conception singulière du temps. Leur histoire ne renvoyait ni au temps cyclique des sociétés traditionnelles, ni au temps linéaire et rectiligne de l'histoire chrétienne ou de l'évolution darwinienne. C'était un temps en spirale, où l'évolution ascendante des êtres vivants, évolution à la fois corporelle et spirituelle – surtout spirituelle – se trouvait ponctuée de grands cataclysmes apocalyptiques qui donnaient à la linéarité de l'évolution une torsion en spirale : dans ce mouvement cyclique, le monde terrestre revenait invariablement au même point du parcours, mais c'était chaque fois à un niveau supérieur du développement spirituel et organique. La légende des continents disparus – Atlantide, Lémurie, Mu – a nourri la conception des catastrophes purificatrices qui anéantissent périodiquement les civilisations, afin que des races nouvelles puissent s'épanouir à la surface du globe après avoir accompli un soudain saut évolutif auquel la catastrophe était indispensable. Les héritiers de l'occultisme, dont les tenants du New Age font partie, attendent impatiemment l'avènement d'un bouleversement eschatologique qui permettrait aux élus de fonder une humanité du Nouvel Âge, spirituellement plus évoluée que la nôtre.

C'est dans ces milieux qu'a été formulée l'idée d'un ébranlement cosmique en 2012. Il s'agit donc d'une prophétie occidentale, inscrite dans le patrimoine de la subculture occultiste du XIX[e] siècle, renouvelée au XX[e] siècle par la mouvance New Age. Pourtant, l'apocalypse que ces milieux appellent de leurs vœux ne constitue pas pour eux la fin du monde. Ce sera uniquement la fin de notre monde, monde épuisé, altéré, haïssable. Ce monde doit disparaître pour que sur ses décombres puisse ensuite s'épanouir une humanité revigorée. Lors d'un colloque récent que les deuxmilledouzeologistes ont tenu en 2010 au Mexique, sous le titre éloquent de « colloque des prophètes », il a été dit que le prétendu alignement galactique du 21 décembre 2012 nous apportera *« une nouvelle naissance de la conscience humaine », « le début d'un nouveau cycle de l'être planétaire », « le retour du féminin » ; « il y aura une transformation et un renouvellement. Ce ne sera certainement pas quelque chose aussi simpliste que la fin du monde »* [5].

Marketing viral. Faut-il, enfin, penser que la popularité de cette prophétie est proportionnelle au nombre de gens qui y croient ? N'oublions pas que chaque décennie voit surgir plusieurs annonces apocalyptiques qui ne suscitent d'écho qu'auprès de quelques rares groupes d'adeptes. Si la deuxmilledouzeologie a exceptionnellement connu un sort différent, c'est parce qu'elle a inspiré un film à gros budget du réalisateur américain Roland Emmerich, sorti en salles en 2009, et qu'elle a bénéficié de son marketing habile. Le lancement du film, intitulé *2012*, a été précédé par la mise en place du site Internet d'un institut scientifique fictif appelant l'humanité à se préparer à la fin imminente du monde annoncée par une prophétie maya et confirmée par la science.

Il s'agissait d'une des premières applications de la technique du « marketing viral », destiné à assurer la promotion d'un film par le truchement d'une rumeur artificiellement suscitée, dont le Web devait spontanément reprendre la propagation. Circulant auparavant dans des cercles restreints des tenants du New Age, l'idée de la fin du monde en 2012 s'est répandue largement dans la culture populaire, avant d'être reprise par les médias, intrigués par l'ampleur du phénomène. Ainsi, une rumeur fabriquée de toutes pièces et instrumentalisée par le marketing hollywoodien est devenue un fait social de dimension globale. La plupart de nos contemporains s'y intéressent sans y croire, tout simplement parce que tout le monde en parle, surtout les médias. Nous y prêtons attention, non parce que nous croyons à cette idée et que nous la trouvons effrayante, mais parce que nous n'y croyons pas et que nous la trouvons distrayante.

L'apocalypse, après avoir été prise très au sérieux au début de l'ère chrétienne, est devenue au début de l'ère postchrétienne une arme de distraction massive. Nous la classons aujourd'hui dans la catégorie des croyances, et – comme nul ne l'ignore – nous réservons le nom de croyances aux idées auxquelles nous ne croyons point. ■

[1] F. Waters, *Mexico Mystique. The Coming Sixth World of Consciousness*, Sage Books, 1975.
[2] M. D. Coe, *The Maya*, Praeger, 1966.
[3] R. Sterling, *In Search of Ancient Astronauts*, NBC-TV, 1973 (DVD édité par Apprehensive Films) ; E. von Däniken, *Présence des extraterrestres*, Robert Laffont, 1969 (1re édition allemande, 1968).
[4] J. Argüelles, *The Mayan Factor. Path Beyond Technology*, Bear & Company, 1987.
[5] http://greatmystery.org//events/cancun2012faculty.html

Pour en savoir plus

> Anthony Aveni, *The End of Time : the Maya Mystery of 2012*, University Press of Colorado, 2009.
> Matthew Restall et Amara Solari, *2012 and the End of the World: the Western Roots of the Maya Apocalypse*, Rowman and Littlefield, 2011.
> Wiktor Stoczkowski, *Des hommes, des dieux et des extraterrestres. Ethnologie d'une croyance moderne*, Paris, Flammarion, 1999.

Instituts matiques

Inserm

Institut national de la santé et de la recherche médicale

ATELIER DE FORMATION 220

Organisateurs / Organizers: **Eva Pebay-Peyroula** *(Institut de Biologie Structurale, Grenoble)*, **Daniel Picot** *(Institut de Biologie Physico-Chimique, Paris)*, **Christophe Moreau** *(Institut de Biologie Structurale, Grenoble)*

Méthodes avancées en biologie structurale intégrée de protéines membranaires

Phase I ▶ Le point sur…
3-10 avril 2013 - **Bordeaux**

Objectifs

Les protéines membranaires ont un rôle majeur dans les processus physiologiques car elles assurent et contrôlent la majorité des communications entre cellules. Elles sont aussi impliquées dans de très nombreuses pathologies ainsi que des mécanismes de résistance aux antibiotiques et anticancéreux, et constituent de fait une cible pharmacologique majeure.

Afin d'élucider les mécanismes moléculaires gouvernant les fonctions et dysfonctionnements de ces protéines et de développer rationnellement de nouveaux principes actifs les ciblant, il est nécessaire d'adopter une approche intégrée basée sur l'analyse structurale, fonctionnelle et dynamique de ces protéines. *Cependant la localisation de ces protéines dans une bicouche lipidique engendre des complications expérimentales.* Afin de surmonter ces verrous, de nouvelles approches ont été développées avec succès.

Cet atelier a pour objectif de présenter aux participants intéressés par l'étude structurale, structure-fonction et dynamique des protéines membranaires, les avancées technologiques majeures dans ces domaines. A l'issu de cet atelier, les participants disposeront d'une vision globale des difficultés rencontrées lors de l'étude structurale des protéines membranaires, des solutions actuellement disponibles pour les surmonter et d'une interaction directe avec des experts nationaux et internationaux dans ces domaines.

Public

L'atelier s'adresse à la communauté scientifique académique et industrielle *s'intéressant aux caractérisations à l'échelle moléculaire de protéines* membranaires afin de comprendre leurs mécanismes de fonctionnement. Le contenu des enseignements théoriques et pratiques sera adapté idéalement pour un public de biochimistes, de biophysiciens, de cristallographes, de bioinformaticiens, de physiologistes ayant une ou des problématique(s) liée(s) à l'étude de protéines membranaires à l'échelle moléculaire. Le programme comportera également certaines thématiques pouvant intéresser des chimistes telles que la synthèse de nouveaux tensio-actifs.

Les conférences seront données en anglais.

Programme

1. Préparation et caractérisation biophysique des protéines membranaires.
2. Méthodes avancées de détermination de structure de complexes membranaires.
3. Fonction et organisation des protéines membranaires dans les membranes.
4. Exploitation des données structure-fonction: simulations numériques et perspectives industrielles.

Phase II ▶ **Maîtrise technique** (3 jours)
Entre le 27 mai et le 15 juin 2013 - **Grenoble, Paris**

Programme

4 ateliers pratiques sont organisés sur les sites de Grenoble et Paris :

1. Expression in vitro et cristallisation en phase de lipide. IBS, Grenoble.
2. Expression et cristallisation classique. IBPC, Paris.
3. Electrophysiologie: Double électrode classique et automatisée (Hi-Clamp), Patch-Clamp, Droplet Interface Bilayer. IBS, Grenoble.
4. Caractérisation biophysique des échantillons. IBS, Grenoble

Sélection

12 à 16 participants seront sélectionnés parmi les participants de la phase I.

Avec la participation de / with the participation of: Frank BERNHARD **(Germany)**, Vadim CHEREZOV **(USA)**, Chris CHIPOT **(France)**, Pierre-Jean CORRINGER **(France)**, Christine EBEL **(France)**, Jean-Luc POPOT **(France)**, Alexey RAK **(France)**, Stéphanie RAVAUD **(France)**, Chris TATE **(UK)**, Michel VIVAUDOU **(France)**, Horst VOGEL **(Switzerland)**, Gerhard WAGNER **(USA)**, Christine ZIEGLER **(Germany)**

Advanced methods in integrated structural biology of membrane proteins

Phase I ▶ Critical assessment…
April 8-10, 2013 - **Bordeaux**

Aims

The membrane proteins have crucial roles in physiological processes because they provide and control the majority of communications between cells. They are also involved in a large number of disorders and in resistance to antibiotics and anticancer-drugs, and are therefore major pharmaceutical targets.

To elucidate the molecular mechanisms governing the functions and dysfunctions of these proteins and to rationally develop new drugs targeting them, it is necessary to apply an integrated approach based on structural, functional and dynamic analysis of these proteins. However, the location of these proteins in a lipid bilayer generates experimental complications. To overcome these obstacles, *new methods have been developed with success.*

This workshop aims to expose the major technological progress in structural, structure-function and dynamic studies of membrane proteins to attendees interested in those fields. In fine, all attendees will: 1) have a global outlook of difficulties encountered in membrane protein structural studies, 2) get answers to solve them with latest knowledge, and 3) interact directly with national and international experts.

Audience

This workshop is aimed at the academic and industrial scientific community interested in the characterizations at the molecular level of membrane proteins in order to understand their functional mechanisms. The subject matter of practical and theoretical courses will be ideally suited to an audience of biochemists, *biophysicists, crystallographers, computer scientists, physiologists having one or* more problematic about membrane protein studies at the molecular level. The program will also include topics that could interest chemists such as synthesis of new surfactants.

Lectures will be given in English.

Program

1. Preparation and biophysical characterization of membrane proteins.
2. Advanced methods to determine the structure of membrane complexes.
3. Function and organization of membrane proteins in membranes.
4. Exploitation of structure-function data: numerical simulations and industrial perspectives.

Phase II ▶ **Technical workshop** (3 days)
Between May 27 and June 15, 2013 - **Grenoble, Paris**

Program

4 practical courses will be organized in Grenoble and Paris :

1. In vitro synthesis and crystallization in lipid phase. IBS, Grenoble.
2. Expression and classical crystallization. IBPC, Paris.
3. Electrophysiology: Classical and automated (Hi-Clamp) Two-Electrode Voltage-Clamp, Patch-Clamp, Droplet Interface Bilayer. IBS, Grenoble.
4. Biophysical characterization of samples. IBS, Grenoble

Selection

12-16 participants will be selected among participants to phase I.

DATE LIMITE D'INSCRIPTION **25 janvier 2013**

REGISTRATION DEADLINE **january 25th 2013**

Renseignements et inscriptions **Information and registration**

Inserm Ateliers de formation 101 rue de Tolbiac 75654 Paris Cedex 13

Tel. +33 (0) 1 44 23 62 04 or 62 03 - Fax +33 (0) 1 44 23 62 93

ateliers@inserm.fr

La France et la Chine coude à coude à Suzhou

À Suzhou, dynamique cité de Chine du Sud, des professeurs de médecine chinois formés à Paris ont entrepris avec des hôpitaux français une coopération fructueuse dans le domaine de l'hématologie.

PAR **Aline Richard,**
directrice de la rédaction de *La Recherche*.

Urgentiste, le docteur Qiu Jing Hua n'aime pas perdre son temps. D'allure frêle mais de l'énergie à revendre, « Lina », le prénom occidental qu'elle s'est choisi, arpente les longs couloirs de l'hôpital sino-français de Suzhou tout en évoquant ses séjours aux CHU de Strasbourg et Marseille. À peine une pause dans le grand hall d'entrée pour montrer le guichet « médecine traditionnelle », où les patients se procurent herbes et décoctions : *« Ici,* commente-t-elle, *la médecine marche sur deux pieds, occidentale et chinoise. »*

Et nous voilà repartis dans les étages, direction la réanimation, où l'équipement des boxes est digne des meilleurs établissements européens. Le docteur Qiu salue collègues et infirmières. Médecin et chercheuse, elle déborde de projets. *« Je*

L'hôpital sino-français de Suzhou coopère avec des CHU français depuis maintenant vingt ans. Dans le hall d'entrée, des messages de prophylaxie s'affichent sur de grands panneaux lumineux. © LI JUNFENG/IMAGINECHINA - MEI JIA/HÔPITAL SINO-FRANCAIS DE SUZHOU

viens d'avoir mon attestation pour piloter les essais cliniques. C'est une activité stratégique pour notre hôpital. Depuis 2008, nous en avons réalisé 70, de la phase I à la phase IV. Ici, les standards occidentaux sont de mise : comité d'éthique et présence d'avocats pour la protection des patients. Nous voulons devenir un hôpital de référence en Chine et à l'international pour des essais multicentriques dans les grands domaines de la médecine. » Un exemple : le centre hospitalier participera à l'étude Icomet de recherche génétique dans le cancer du côlon, lancée par le cancéropôle de Marseille.

© MEI JIA/HÔPITAL SINO-FRANCAIS DE SUZHOU

Médecin et chercheur à l'institut des neurosciences de l'université de Suzhou, le professeur Liu Chun-Feng examine un patient du service de neurologie de l'hôpital sino-français. Il est également directeur de thèses en cotutelle entre les universités de Suzhou et de Grenoble.

Voyages en France. L'hôpital sino-français de Suzhou, c'est une belle aventure qui débute à Paris à la fin des années 1970. Le jeune étudiant en médecine Ruan Chang-Geng fait partie des heureux élus envoyés par Deng Xiaoping en France pour y parfaire leurs connaissances. Il y deviendra un médecin et un chercheur reconnu en hématologie, dans le domaine de la thrombose et des anticorps antiplaquettes, sous la houlette de son directeur de thèse, Jacques Caen. « *Les chercheurs qui avaient étudié en France voulaient garder le contact avec les équipes françaises et continuer à travailler ensemble,* raconte-t-il. *De là est née la collaboration autour de l'hôpital sino-français de Suzhou.* »

Le centre hospitalier, qui élève ses bâtiments modernes juste en face de l'hôtel de ville de Suzhou, est un établissement de poids avec ses 27 services cliniques, ses 1900 employés, dont 1500 pour le personnel médical, et ses consultations toujours plus nombreuses : 1,2 million pour la seule année 2011 ! L'hôpital pratique des spécialités de pointe, comme la chirurgie mini-invasive ou la reconstruction plastique, et fait de la recherche à la manière d'un CHU, en liaison avec la faculté de médecine de l'université de Suzhou.

La coopération avec la France est constante avec l'assistance publique-hôpitaux de Paris et les CHU de Strasbourg, de Grenoble et de Montpellier : les étudiants chinois y sont accueillis en stage, des thèses sont en cotutelle entre Suzhou et Grenoble, et des professeurs français visitent régulièrement leurs collègues chinois. Au total, une soixantaine de personnes, étudiants mais aussi médecins de l'hôpital, ont été envoyées en France à des fins de formation.

L'hématologie occupe une place à part dans la coopération médicale franco-chinoise. Plusieurs spécialistes chinois des maladies du sang, parmi les plus brillants, ont été formés en France. Outre Ruan Ruan Chang-Geng, l'actuel ministre de la Santé Chen Zhu a étudié et obtenu son doctorat à Paris. Ainsi, Suzhou est devenu un centre d'excellence en hématologie : plusieurs instituts dévolus à la recherche expérimentale en liaison avec la clinique se sont constitués en réseau sous l'égide de l'université de Suzhou. Une faculté, fondée en 1900 par un missionnaire américain. « *Parmi tous les savoirs qui sont enseignés ici à nos 50 000 étudiants, je suis particulièrement fier de notre activité scientifique en hématologie, où nous sommes au niveau international* », se félicite Jiang Yong, vice-président de l'université.

Anticorps monoclonaux. Fondé en 1988 au sein de l'université, l'Institut d'hématologie du Jiangsu (JIH) occupe un bâtiment aux murs blancs et tuiles noires, typique des constructions traditionnelles de la région. Dans ce centre, les recherches portent sur la thrombose, l'hémostase, les leucémies et autres maladies du sang, sans oublier la transplantation de cellules souches. Dans la foulée des travaux de Ruan Chang-Geng sur les anticorps antiplaquettes, toute une série d'anticorps monoclonaux baptisés « SZ » pour Suzhou ont été développés au JIH. Autre domaine important, la génétique. He Jun, chercheuse au centre, montre, pas peu fière, le séquenceur nouvelle génération que le JIH a acquis pour permettre aux chercheurs d'identifier et d'analyser plus précisément les mutations génétiques en cause dans les cancers du sang. Autre haut lieu de la recherche en hématologie, le centre Cyrus Tang, plus récent puisqu'il a ouvert ses portes en 2009. Il s'agit aussi d'une création de l'université de Suzhou, soutenue financièrement par la province du Jiangsu et par la fondation américaine Cyrus Tang, qui porte le nom d'un natif de la ville ›››

L'essentiel

> NON LOIN DE SHANGHAI, Suzhou est devenue un lieu privilégié de rencontre entre la France et la Chine, notamment dans le domaine de la recherche médicale.

> LA CITÉ DU SUD affiche un taux de croissance et un dynamisme qui attire les entreprises françaises.

La France et la Chine coude à coude à Suzhou

>>> devenu un richissime entrepreneur aux États-Unis. Le centre se veut une plate-forme pour la recherche et l'innovation technologique en hématologie, un lieu de formation pour une centaine de doctorants venus de toute la Chine.

Économie de la connaissance. Ces médecins et chercheurs vivent et travaillent dans une des cités les plus trépidantes de la Chine du Sud. À une heure de route de Shanghai, dans le delta du Yangzi, haut lieu du dynamisme chinois (lire « Le delta du Yangzi », ci-dessous), Suzhou affiche une croissance économique annuelle de 11 %, près de 10 millions d'habitants et, pour loger les nouveaux arrivants, des tours d'habitation qui poussent là où il reste de la place, entre deux bretelles autoroutières sur les bords du lac Taihu.

Le contraste est fort avec la vieille ville de Suzhou, lieu mythique d'une culture chinoise ancestrale. *« La ville a le statut de zone économique spéciale,* explique le professeur Ruan Chang-Geng. *Elle est devenue la seconde cité industrielle de la Chine grâce à ses parcs d'entreprises, à l'est et à l'ouest de la ville. Cela a été un tel succès qu'aujourd'hui, les habitants de la ville ont surnommé la zone le "Suzhou occidental" par opposition au "Vieux-Suzhou" au cœur de la cité. »*

L'évolution de ces centres d'affaires est représentative de ce qui se passe en Chine depuis une quinzaine d'années. Dès le début des années 1990, Suzhou noue des alliances avec des partenaires étrangers – Singapour et Taïwan – qui lui apportent des fonds pour la création de deux parcs d'entreprises. Le plus ancien, le SIP (Suzhou Industrial Park) accueille d'abord des entreprises manufacturières comme Fuji ou Panasonic. Puis, au milieu des années 2000, c'est le tournant vers les hautes technologies et l'économie de la connaissance : la Chine veut toujours être l'« usine pour le monde », mais pour les produits high tech... Des sociétés comme Fairchild, Samsung ou Hitachi s'installent à Suzhou pour fabriquer des semi-conducteurs, mais aussi Alcatel pour la téléphonie mobile, Snecma, Alstom, l'Oréal... Des PME innovantes choisissent également cette implantation comme le français Edit, spécialisé dans les technologies lasers, micro-ondes et infrarouge. En mai 2012, cette société inaugurait un « show room » et un centre de recherche conjoint avec l'université de Suzhou.

Rien d'étonnant, l'éducation et la recherche sont parties intégrantes du parc technologique au même titre que les compagnies privées. Créée en 2006, une immense ville-campus a vu le jour au sud du SIP : sur 10 kilomètres carrés, le « Dushu Lake Higher Education Town » doit accueillir à terme 100 000 étudiants. Laboratoires, bâtiments universitaires et centre de conférences s'égrènent au long de larges avenues arborées.

Des universités chinoises et étrangères (Liverpool et Singapour) et leurs laboratoires associés y sont implantés dans les domaines les plus recherchés par le marché : biomédical, nanomatériaux, énergies. L'idée est que le passage du laboratoire à la commercialisation des produits doit se faire le plus rapidement possible. Exemple de réussite, la société SVG Optronics, cotée à la Bourse de Shenzhen depuis juin dernier. Formé aux États-Unis et professeur à l'université de Suzhou, Chen Lisen a inventé un matériau optique anticontrefaçon pour les cartes d'identité.

« Suzhou est la première des villes chinoises pour les dépôts de brevets », remarque Claire-Lise Dautry, responsable de Skema Business School. L'école de commerce française s'est implantée sur le campus de Suzhou en 2011 pour *« être là où les choses se passent en matière d'innovation. »* Outre l'enseignement aux étudiants français et chinois (entre 400 et 500 par an), Skema propose aux start-up ses compétences en matière de gestion d'incubateurs. *« Les Chinois brillent en technologie, mais ils font appel à nous pour accompagner les entreprises dans le processus d'innovation,* explique Claire-Lise Dautry. *Ainsi, nous sommes portés par le dynamisme de la région. »* Suzhou se vit comme une « Silicon Valley » à la chinoise. ■

Le delta du Yangzi, berceau pour les investissements étrangers

Sur la côte orientale de la Chine, le delta du Yangzi est une place forte de l'économie chinoise : 16 métropoles, dont Shanghai, Nanjing, Zhenjiang et Suzhou, dessinent un paysage très industrialisé et connecté, terre d'investissements tant nationaux qu'étrangers. Ainsi, la province du Jiangsu qui inclut la région du delta, est-elle devenue la première province chinoise pour le capital étranger devant le Guangdong (région de Canton). Selon la société Ubifrance, le montant des investissements directs étrangers pour 2009 au Jiangsu a atteint 21,4 milliards d'euros, pour près de 40 000 sociétés étrangères ou à capitaux sino-étrangers. Premiers investisseurs, les États-Unis, mais aussi les pays de la zone Asie. La France, quant à elle, s'intéresse de plus en plus au Jiangsu avec un montant investi en 2010 de 190 millions d'euros et 120 implantations industrielles et bureaux. De grandes entreprises sont présentes dans la région, comme Alstom ou Veolia transport, sans compter les sociétés qui ont choisi de s'implanter à Suzhou.

***La Recherche* organise en mai 2013,** à Paris, une journée de conférences et de tables rondes consacrée à la recherche et à l'innovation en Chine. Destinée principalement aux entreprises et aux investisseurs, elle leur permettra de mieux appréhender les opportunités de collaboration franco-chinoise. Pour en savoir plus : chine2013@larecherche.fr

CRIC Cooperative Research Innovation Conference
FRANCECHINE / PARIS 2013

Complétez votre collection...

La Recherche
L'actualité des sciences

Les anciens numéros

N°446 novembre 2010
Dossier : Les 24 plus beaux défis de la science.
Événement : épidémie de dengue, la lutte s'organise.

N°447 décembre 2010
Dossier : Dieu et la science.
Événement : modéliser la qualité de l'eau de la planète.

N° 448 janvier 2011
Dossier : Les 10 découvertes de l'année.
Cahier spécial, ce qu'il faut suivre en 2011.

N° 449 février 2011
Dossier : Comment le cerveau apprend.
Événement : la pêche menace-t-elle le thon rouge ?

N° 450 mars 2011
Dossier : La traque de l'antimatière.
Événement : dernier repas chez les ammonites.

N° 451 avril 2011
Dossier : Cellules souches, les promesses de la médecine régénératrice.
Événement : gaz de schiste, une exploitation à risque.

N° 452 mai 2011
Dossier : Mars, sur les traces de la vie
Événement : Le nucléaire civil après Fukushima.

N° 453 juin 2011
Dossier : Nucléaire et risques naturels, l'état des lieux en France.
Événement : Première usine française pour les nonotubes.

N° 454 juillet-août 2011
Dossier : Sommeil et rêves, ce que révèlent les neurosciences.
Événement : Les antirétroviraux limitent la transmission du sida.

N° 455 septembre 2011
Dossier : Un nouveau monde quantique.
Événement : Des organes passent sous contrôle lumineux.

N° 456 octobre 2011
Dossier : Origines de la vie.
Événement : Immuniser des moustiques pour éradiquer la dengue.

N° 457 novembre 2011
Dossier : Le développement de l'intelligence.
Événement : Des neutrinos supra-luminiques interrogent la physique.

N° 458 décembre 2011
Dossier : Vers une gravitation quantique.
Événement : Toucher par la pensée.

N° 459 janvier 2012
Dossier : Le coeur artificiel.
Événement : Le lac sous-glacière Vostok bientôt atteint.

N° 460 février 2012
SPECIAL : Les 10 découvertes de l'année.

N° 461 février 2012
Dossier : La physique de l'invisible.
Événement : Les mystérieuses origines des fossiles de Doushanto.

N° 462 mars 2012
Dossier : Vaincre la douleur.
Événement : Stradivarius, la fin du mythe.

N° 463 avril 2012
Dossier : Epigénétique, l'hérédité au-delà des gènes.
Événement : Controverse autour d'un « supervirus » de la grippe.

N° 464 mai 2012
Dossier : La théorie de la complexité.
Événement : Fertilité, les cellules souches bien cachées.

N° 465 juin 2012
Dossier : Troubles mentaux, l'escroquerie.
Événement : Taux d'acidification record pour les océans.

N° 466 juillet-août 2012
SPÉCIAL : La physique du XXIe siècle.
Événement : La saga de la grotte Chauvet.

Les hors-série

- La physique en 18 mots-clés
- Les sciences de la Terre en 18 mots-clés
- 365 énigmes mathématiques
- Spécial Jeux mathématiques
- Le Guide de l'emploi scientifique

Les numéros exceptionnels

- Jeux mathématiques
- La science en 22 mots-clés

Les années complètes

45% d'économie

2002 : N° 349 à 359
2003 : N° 360 à 370
2004 : N° 371 à 381
2005 : N° 382 à 392
2006 : N° 393 à 403
2007 : N° 404 à 414
2008 : N° 415 à 425
2009 : N° 426 à 436
2010 : N° 437 à 447
2011 : N° 448 à 458

Les Dossiers de La Recherche

N° 19 : L'histoire de la vie
N° 20 : Mathématiques « nouveaux défis et vieux casse-tête »
N° 21 : Explorer le cosmos
N° 22 : La mémoire
N° 23 : Les particules élémentaires
N° 24 : Neandertal
N° 25 : L'histoire de la Terre
N° 26 : Sciences à risque
N° 27 : L'évolution, comment les espèces s'adaptent
N° 28 : Biodiversité
N° 29 : Le monde quantique
N° 30 : La conscience
N° 31 : Le défi climatique
N° 32 : La nouvelle histoire de l'homme
N° 33 : L'héritage Darwin
N° 34 : L'intelligence
N° 35 : Le Big Bang
N° 36 : La mer
N° 37 : Le pouvoir des mathématiques
N° 38 : La lumière quantique
N° 39 : La valse des espèces
N° 40 : Le cerveau
N° 41 : Microbes **NOUVELLE FORMULE**
N° 42 : L'héritage Marie Curie
N° 43 : La théorie du tout
N° 44 : Les idées reçues en science et en technologie
N° 45 : Neandertal, notre nouvel ancêtre
N° 46 : La révolution des mathématiques
N° 47 : Les énergies de demain
N° 48 : Dieu et la science
N° 49 : La mémoire

Retrouver l'intégralité des numéros disponibles sur le site www.larecherche.fr et les commander en ligne.

Et pour conserver votre collection précieusement

- **l'écrin 12 numéros**
  24€ les deux
- **l'écrin 18 numéros**
  (12 numéros + les 6 Dossiers de la Recherche)
  27€ les deux

Tarifs (frais de port compris)	France TTC	Étranger TTC
Année complète 11 nos	45 €	55 €
Numéros	7,50 €	8,50 €
Dossiers	8 €	9 €
Hors-série	6,50 €	7,50 €
Numéros exceptionnels	8 €	9 €
Écrin 12 nos	13,50 €	16,50 €
Lot de 2 écrins 12 nos	24 €	27 €
Écrin 18 nos	15 €	18 €
Lot de 2 écrins 18 nos	27 €	30 €

Oui, je souhaite recevoir dans les 3 semaines :

Quantité	Indiquez ci-dessous les numéros souhaités	
____	Années complètes : ☐ 2002 ☐ 2003 ☐ 2004 ☐ 2005 ☐ 2006	
____	☐ 2007 ☐ 2008 ☐ 2009 ☐ 2010 ☐ 2011	Soit ____ €
____	Numéro ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊	
____	⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊	Soit ____ €
____	Dossiers N° : ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊	
____	⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊	Soit ____ €
____	■ La physique en 18 mots-clés	Soit ____ €
____	■ Les sciences de la Terre en 18 mots-clés	Soit ____ €
____	■ 365 énigmes mathématiques	Soit ____ €
____	■ Spécial Jeux mathématiques	Soit ____ €
____	■ Le Guide de l'emploi scientifique	Soit ____ €
____	■ Jeux mathématiques	Soit ____ €
____	■ La science en 22 mots-clés	Soit ____ €
	Écrin 12 nos : ⌊⌊ Lot de 2 : ⌊⌊	Soit ____ €
	Écrin 18 nos : ⌊⌊ Lot de 2 : ⌊⌊	Soit ____ €
	Total de ma commande	____ €

Bon de commande

À retourner à LA RECHERCHE - BP 65 - 24 chemin Latéral - 45390 Puiseaux
✆ 33 (0) 2 38 33 42 89 • Fax : 33 (0) 2 38 34 32 23 ✉ Email : ctartivot@wanadoo.fr

V470

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____
Adresse : _____
Code postal : ⌊⌊⌊⌊⌊ Ville : _____
Pays : _____
E-mail : _____

Je règle aujourd'hui par :

❒ chèque à l'ordre de *La Recherche* ❒ carte bancaire

N° ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊ ⌊⌊⌊⌊

Je note aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire, au niveau de la signature : ⌊⌊⌊ Expire fin : ⌊⌊ ⌊⌊

Signature obligatoire :

Votre commande ne sera expédiée qu'à réception de votre règlement.

Portrait *d'un physicien des particules*

© MARTIAL TREZZINI/AP/SIPA

Dario Autiero est né le 3 décembre 1964 à Naples, en Italie. Après ses études à l'université de Pise, où il obtient un doctorat de physique des particules, il rejoint en 1994 le CERN à Genève. Il y travaille notamment sur l'expérience Nomad, avant de s'impliquer dans la collaboration internationale Opera et de rejoindre en 2002 l'institut de physique nucléaire de Lyon du CNRS. Il a été désigné « Personnalité scientifique de l'année 2011 » par la revue *Nature*.

« Ce qui compte, c'est mesuré la vitesse du

Coordinateur discret de l'expérience internationale Opera sur les neutrinos, le physicien Dario Autiero s'est retrouvé sous les projecteurs l'an dernier en annonçant que la particule semblait aller plus vite que la lumière.

C'est l'histoire d'une particule, un neutrino, qui n'aurait jamais dû arriver en avance. L'histoire, aussi, d'un physicien trahi par un câble mal branché. Expérimentateur de renom, Dario Autiero s'était mis en tête, avec une vingtaine de physiciens, de mesurer la vitesse des neutrinos, particules qui n'interagissent presque pas avec la matière. En septembre 2011, le résultat est rendu public : la particule serait plus rapide que la lumière, en violation de la théorie de la relativité d'Einstein. Neuf mois et de nombreuses expériences plus tard, le neutrino est rentré dans le rang. Le héros de l'histoire n'a pas pour autant perdu sa soif de comprendre.

« *Maintenant que cette période un peu folle est achevée, j'ai retrouvé mon état fondamental* », sourit Dario Autiero. Sa voix douce dévoile ses origines italiennes. Elle ne laisse paraître ni lassitude ni déception. Dans son bureau de l'institut de physique nucléaire de Lyon, le quadragénaire grisonnant affiche une passion intacte pour la science. « *Ça remonte à mon enfance,* raconte le physicien. *À 7 ans, j'ai remarqué, sur un étalage à Venise, une série de jolis livres qui expliquaient les atomes, les molécules et toutes ces choses. J'ai convaincu mon grand-père de me les offrir. J'étais surpris d'apprendre que le son et la lumière n'ont pas la même vitesse. J'ai alors compris que c'est la physique qui tente de répondre aux questions essentielles sur notre monde.* »

Son appétit grandit au cours de l'adolescence. « *Pendant les vacances, j'allais à la plage le matin, puis je me plongeais dans des livres universitaires.* » Né dans une famille où les nombres s'alignent en tableaux – un père économiste et une mère experte-comptable –, le jeune Dario rejoint l'université de Pise. Sa thèse de doctorat, soutenue en 1991, portait sur l'étude des propriétés magnétiques d'une particule élémentaire, le boson W.

« *Il était très méticuleux,* se souvient Vincenzo Cavasinni, qui dirigea son doctorat. *Il revérifiait maintes fois ses résultats. Ensuite, il est parti travailler à l'Organisation européenne de recherche nucléaire (CERN), à Genève, mais on est toujours resté en contact.* » Dans ce temple de la physique des particules, Dario Autiero rejoint l'expérience Nomad sur les « oscillations » des neutrinos.

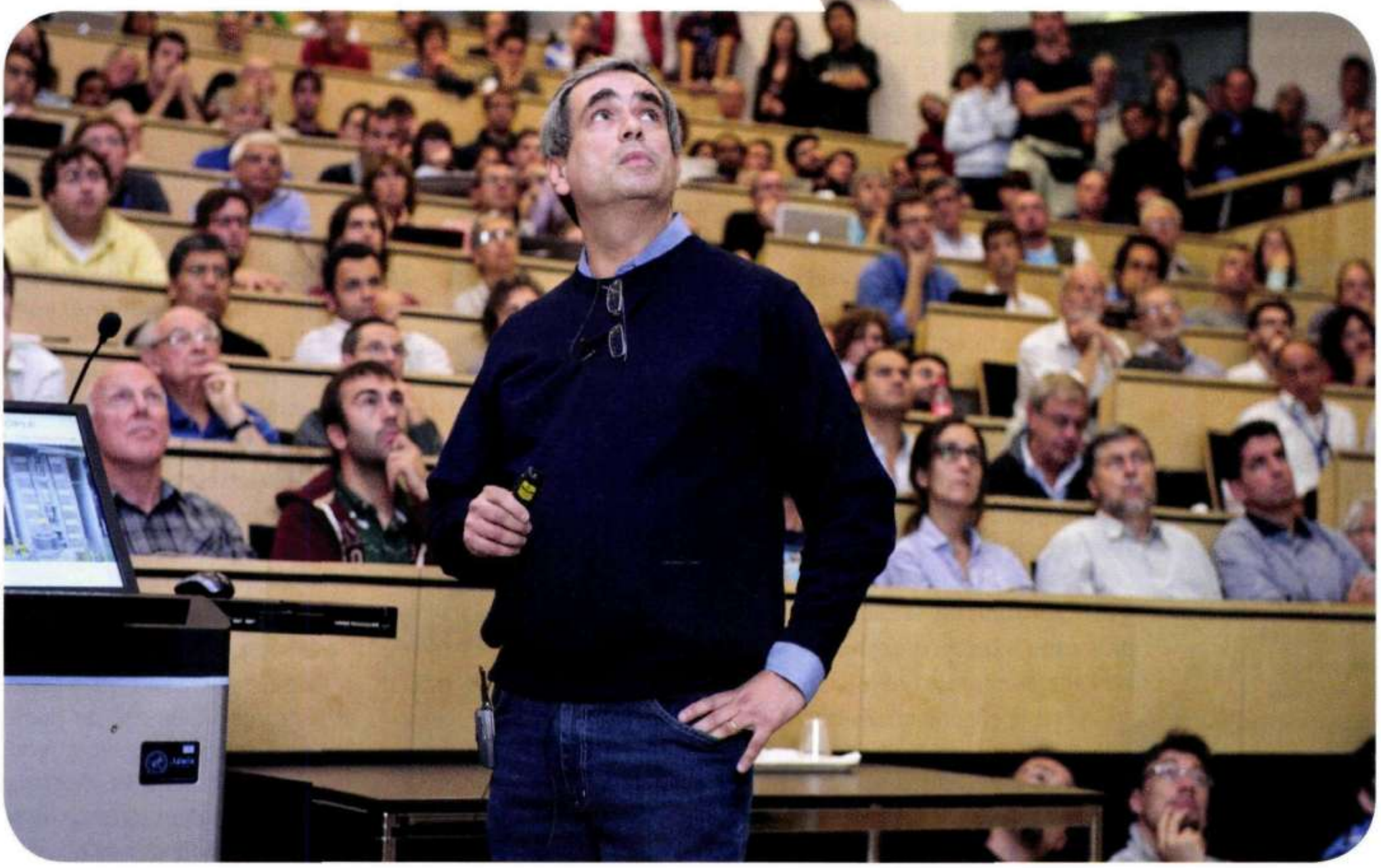
Cette particule existe sous trois formes, et passe spontanément de l'une à l'autre. Nomad a pour but de surprendre de rares neutrinos de type « mu » qui se transforment en neutrinos « tau ». « *Ces études doivent répondre à des questions sur l'origine de la masse et de la matière noire dans l'Univers* », précise Dario Autiero.

Comprendre l'origine de la masse dans l'Univers passe par l'étude des neutrinos

Au démarrage de Nomad, les physiciens calculent qu'il suffit de placer les détecteurs à un kilomètre de la source de neutrinos. Mais il apparaît qu'il faut laisser les particules parcourir plusieurs centaines de kilomètres pour espérer observer la transformation de quelques-unes. D'où l'idée de la collaboration internationale Opera, démarrée en 2000 : orienter un faisceau de neutrinos produit au CERN vers le laboratoire souterrain de Gran Sasso, en Italie, à 732 kilomètres de là.

Quand, en 2002, le CERN se retire d'Opera faute de moyens, Dario Autiero rejoint l'institut de physique nucléaire de Lyon, au CNRS. Il est alors dirigé par Yves Déclais, porte-parole de la collaboration. « *Dario Autiero est une référence mondiale en phy-*

que nous avons neutrino »



© 2011 CERN/MAXIMILIEN BRICE, DENNIS JEANNEE

Dario Autiero, lors du séminaire du CERN le 23 septembre 2011, où il a présenté les résultats extraordinaires de ses expériences : les neutrinos semblaient avoir voyagé plus vite que la lumière entre la Suisse et l'Italie.

sique, souligne celui-ci, aujourd'hui chercheur émérite. *Il a fait partie du noyau dur d'Opera, les trois ou quatre personnes qui ont été essentielles à sa conception et sa mise en œuvre.* »

Règle non graduée. Dario Autiero se passionne aussi pour la géodésie et les horloges atomiques. « *On s'est dit qu'en améliorant le système de synchronisation avec le CERN, on pourrait mesurer le temps de parcours des neutrinos et en déduire leur vitesse, tout en conduisant nos expériences sur les oscillations* », explique-t-il. Opera reçoit des équipements complémentaires pour chronométrer les neutrinos et déterminer la position du laboratoire.

Les chercheurs procèdent en aveugle, pour éviter tout préjugé. « *Les données étaient enregistrées dans le cadre d'une configuration technique plus ancienne, qui remontait à 2006. C'est un peu comme si nous avions mesuré une longueur avec une règle non graduée, puis comparé les différentes mesures pour vérifier qu'elles se recoupent, avant de recalibrer le résultat pour connaître sa valeur. Ce n'est qu'au printemps 2011 que nous avons calculé la distance entre le CERN et Gran Sasso avec une incertitude de 20 centimètres et déterminé le temps de vol à dix nanosecondes près.* » Dario Autiero et son étudiante de thèse, Giulia Brunetti, découvrent alors l'inimaginable : au terme d'un voyage de 2,5 millisecondes, les neutrinos arrivent avec 60 milliardièmes de seconde d'avance sur le temps que mettrait de la lumière sur la même distance.

« *Nous étions persuadés qu'il y avait une erreur. Nous avons gardé ça pour nous et entrepris de tout vérifier* », précise-t-il. Les ordinateurs, les cartes électroniques, les détecteurs... L'influence, millimétrique, des marées de l'écorce terrestre. L'effet du séisme de l'Aquila en 2009, qui a déplacé le laboratoire de 7 centimètres, etc. Après deux mois d'un travail acharné avec la vingtaine de personnes impliquées, tout a été passé au peigne fin, >>>

Portrait *d'un physicien des particules*

Dario Autiero

Son laboratoire

Il dirige le groupe neutrinos de l'Institut de physique nucléaire de Lyon. Il partage son temps entre Lyon et le laboratoire italien souterrain de Gran Sasso, où sont installés les détecteurs de l'expérience internationale Opera. Il collabore également à l'expérience japonaise T2K sur les oscillations du neutrino et préside le conseil scientifique du groupement de recherche sur les neutrinos (CNRS-CEA).

Ses publications

Il est auteur et coauteur de 130 publications de physique des particules, dans des revues à comité de lecture. Il est également relecteur de nombreuses revues de physique, comme le *Journal of High Energy Physics*, le *New Journal of Physics* et *Earth, Planets and Space*.

›››› croient alors les chercheurs. « *Nous n'avons pas trouvé de biais. Nous avons donc prévenu les responsables de la collaboration, créé un groupe de travail qui a entrepris d'autres vérifications, et enfin averti l'ensemble des membres d'Opera* », se souvient Dario Autiero.

Rumeur et fuite. L'information n'aurait pas dû filtrer, le temps que d'autres groupes confirment ou infirment le résultat. Mais Opera rassemble près de 170 scientifiques, ce qui rend le secret difficile à garder. Un séminaire public est donc prévu à Genève le 23 septembre 2011. Hélas, informé de la rumeur deux jours plus tôt, le physicien – retraité – Antonio Zichichi, père du laboratoire de Gran Sasso, appelle le quotidien italien *Il Giornale*, qui relaie la nouvelle dans son édition du 22 septembre, rejoint quelques heures plus tard par l'influent *New York Times*.

Le lendemain, à Genève, chercheurs et journalistes écoutent, médusés, les explications de Dario Autiero. « *Je n'ai pas parlé de découverte. Nous avons détaillé notre méthode et ce résultat anormal pour inciter d'autres équipes à faire leurs propres expériences* », se défend celui-ci. Malgré cette prudence, de nombreux journalistes évoquent un bouleversement de la physique. « *Les médias français ont réagi sans sensationnalisme*, souligne le physicien. *Mais en Italie et dans les pays anglo-saxons, il y a eu de tout.* »

Des dizaines d'articles scientifiques sont diffusés sur le site de prépublication Arxiv. « *Je passais mes nuits à répondre aux journalistes, aux chercheurs et même à des particuliers qui avaient chacun, bien sûr, une explication théorique* », se souvient-il. Chez les physiciens, le scepticisme est de mise. Le théoricien italien Gian Guidice, du CERN, dira que l'explication théorique la plus plausible qu'il a entendue est qu'en Suisse les neutrinos voyagent à la vitesse de la lumière, mais que sitôt la frontière italienne franchie, ils ne respectent plus les limites de vitesse !

À l'automne 2011, des chronométrages – plus précis – renforcent la confiance du groupe de travail, qui soumet un article au *Journal of High Energy Physics (JHEP)* le 17 novembre. Mais début décembre, une série de vérifications laissent penser qu'un connecteur de fibre optique était mal branché, fait attesté depuis par une photographie découverte dans un dossier. De quoi surestimer la vitesse des neutrinos. Parallèlement, un défaut d'électronique est repéré, qui agit dans le sens inverse. « *Le 23 février 2012, j'ai donc demandé au JHEP de mettre en attente l'article, qui avait été accepté. Tout le monde a travaillé jusqu'au bout sans compter, jour et nuit.* »

En mai, Opera et trois autres expériences indépendantes de Gran Sasso mettent enfin un terme à l'incertitude : le neutrino ne va pas plus vite que la lumière. Entre-temps, une motion circule au sein de la collaboration pour « renverser » Dario Autiero et le porte-parole d'Opera Antonio Ereditato, autre Italien, basé, lui, à l'université de Berne, en Suisse. En mars, les deux physiciens démissionnent. Pour Yves Déclais : « *Cette affaire n'était qu'un prétexte. Les Italiens de Gran Sasso n'ont jamais pardonné à Dario d'avoir choisi le CNRS plutôt que leur laboratoire.* »

Ce dernier affirme être heureux de son nouveau sort : « *La coordination d'Opera me prenait beaucoup de temps. J'en ai plus aujourd'hui pour faire de la physique.* » Il jette un voile pudique sur la manière dont il a traversé ces épreuves. « *Ces centaines de courriels et de coups de fil quotidiens, c'était à la limite de l'inhumain. Mais ce qui compte, c'est que l'objectif est atteint : une mesure très fine de la vitesse des neutrinos qui marie la physique des particules et les techniques de métrologie du temps et de l'espace. Cela n'avait jamais été fait.* »

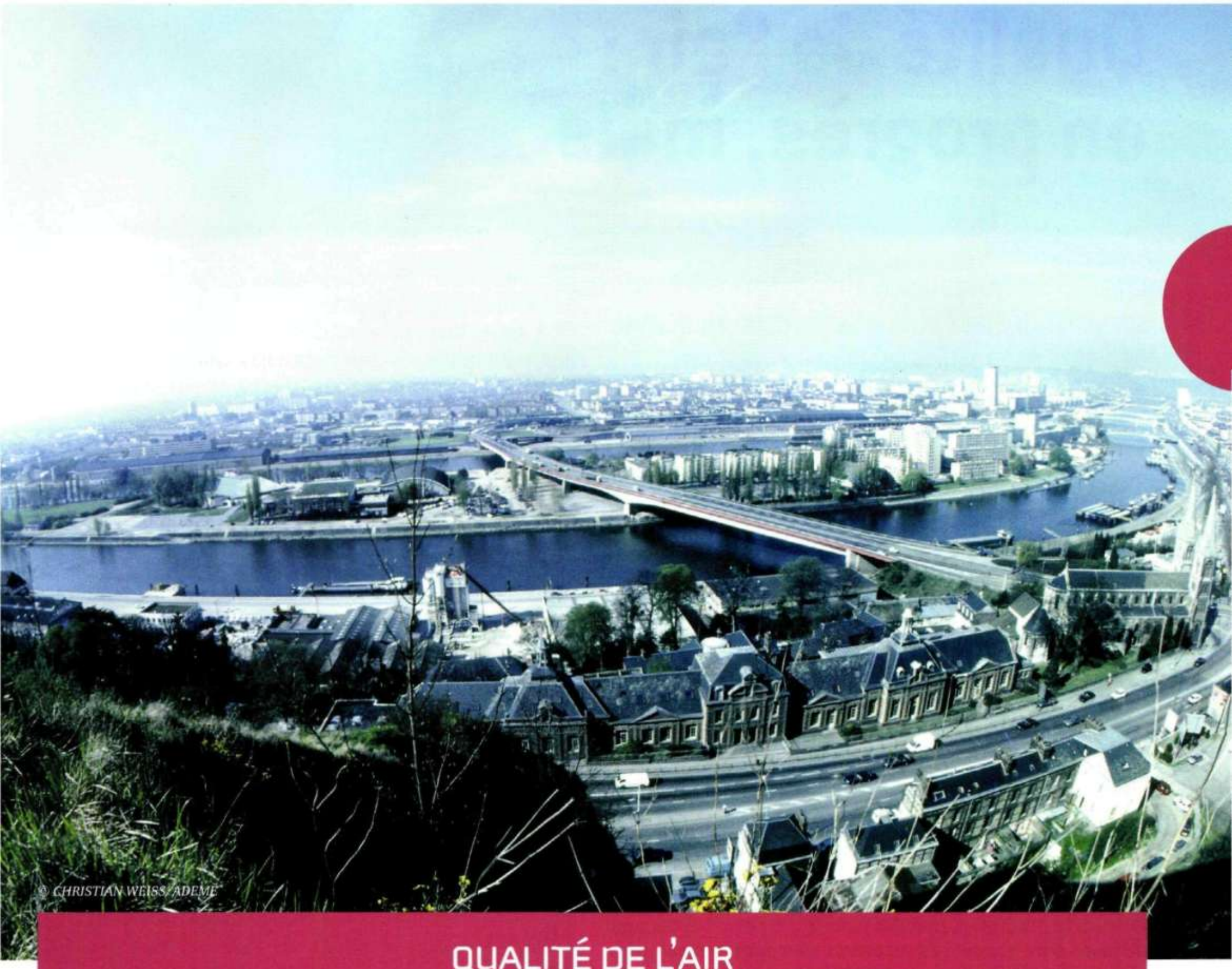
L'objectif initial de l'expérience Opera a été atteint, deux neutrinos tau ont été observés

À entendre Vincenzo Cavasinni, il a été plus affecté qu'il ne le dit. « *Dario était triste, très touché. Il a même parlé d'abandonner la physique. Je ne m'explique pas qu'ils aient pu passer à côté d'un tel biais alors qu'ils ont vérifié des effets physiques très subtils ; je lui ai rappelé que l'erreur fait partie de la science, et qu'on doit la gérer de manière honnête. Et c'est ce qu'il a fait.* » Yves Déclais regrette aussi cette erreur « *grossière* » : « *Mais il a eu raison de mettre son résultat sur la table, et il peut être fier d'avoir conduit jusqu'au bout ce travail, qui reste une vraie première. Certains sont très forts pour commenter le travail des autres. Ils oublient qu'il y a eu beaucoup d'erreurs dans l'histoire de la physique des neutrinos.* »

Par ailleurs, l'objectif initial d'Opera a été atteint : deux neutrinos tau ont été observés dans le faisceau de neutrinos mu, en 2010 et 2012. Et le dépouillement des données continue. Mais déjà, Dario Autiero a le regard tourné vers l'avenir. « *Notre groupe de Lyon participe à un projet de mesure des oscillations de neutrinos sur une distance plus grande encore. Nous espérons installer un détecteur géant au fond d'une mine en Finlande, à 2300 kilomètres du CERN.* »

■ **Denis Delbecq**

Cahier réalisé en partenariat avec :



QUALITÉ DE L'AIR

La recherche se mobilise

On parle aujourd'hui plus volontiers de « qualité de l'air » que de « pollution atmosphérique ». C'est le signe que les efforts entrepris depuis plus de deux décennies ont porté leurs fruits. La pollution régresse. La qualité de l'air s'améliore. Il reste encore beaucoup à faire, et la recherche joue ici un rôle crucial. Elle s'efforce de relever deux grands défis pour réduire les émissions : mieux déterminer leur source, mieux évaluer la situation de l'atmosphère. S'en ajoute depuis peu un troisième : comprendre les liens entre la qualité de l'air et le réchauffement climatique.

> P. 74 Qualité de l'air : en progrès, mais...
> P. 77 Un important dispositif de recherche
> P. 78 Déterminer la source des émissions
> P. 80 Évaluer pour agir
> P. 82 Comprendre les liens avec le climat
> P. 83 Recherche et innovations

Qualité de l'air : en progrès, mais...

L'impact de la pollution atmosphérique sur la santé n'est plus à démontrer. La qualité de l'air s'est améliorée, mais ce n'est pas encore suffisant.

Mieux. Beaucoup mieux. Depuis une vingtaine d'années, la qualité de l'air extérieur en France s'est très nettement améliorée. La présence de polluants comme le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, le plomb et le benzène a considérablement chuté. *« Cela montre que dans ce domaine, lorsqu'on met en place des actions, il est possible d'obtenir des résultats »,* souligne Joëlle Colosio, chef du service Évaluation de la qualité de l'air à l'ADEME. Vrai.

Il serait cependant prématuré de crier victoire et de clore le dossier de la pollution. Il reste une foule d'autres polluants à maîtriser et, à la différence des précédents, ils sont souvent bien plus délicats à gérer. D'une certaine façon, le plus facile a été fait. L'origine des polluants incriminés à l'époque était en effet bien identifiée et circonscrite : essentiellement les grands sites industriels. Les solutions pour limiter l'émission de ces sources fixes ont été mises en place notamment grâce à la réglementation et au développement de nouvelles technologies. Les autres en revanche proviennent d'une variété de sources, multiples, mobiles (transports) et extrêmement diffuses. Pire encore, ils résultent souvent d'interactions chimiques complexes et parfois difficiles à cerner.

Résultat : parmi la longue liste des polluants atmosphériques, plusieurs continuent à afficher des concentrations trop élevées au regard de la réglementation. C'est en particulier le cas pour les oxydes d'azote (NO_x) et les particules fines dans certaines grandes agglomérations ainsi que pour l'ozone en zones périurbaines ou en zones rurales.

Ce qui a été baptisé « particule » est un mélange de polluants solides et/ou liquides en suspension dans l'air. Ces particules sont émises par nombre de sources, naturelles ou anthropiques : industrie, chauffage, transports, agriculture, végétation… Leur danger pour la santé dépend des espèces chimiques qui les composent et de leur taille. Elles sont aujourd'hui dans le collimateur. Un « plan particules » prévoit ainsi des mesures pour en réduire de 30 % la concentration à l'horizon 2015 en France. Deux catégories sont actuellement réglementées, les particules dites PM_{10} (diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) et depuis 2008, s'y sont ajoutées les particules fines, les $PM_{2.5}$ (diamètre inférieur à 2,5 µm) qui présentent le danger de pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire. Les transformations chimiques sont aussi à l'origine de particules dites « secondaires » créées à partir de molécules « précurseurs » comme l'ammoniac et les oxydes d'azote.

L'ozone, c'est une autre affaire. Il fait partie des polluants dits « secondaires », c'est-à-dire issus de transformations physico-chimiques dans l'atmosphère, ce qui rend leur étude

PRINCIPAUX POLLUANTS CHIMIQUES

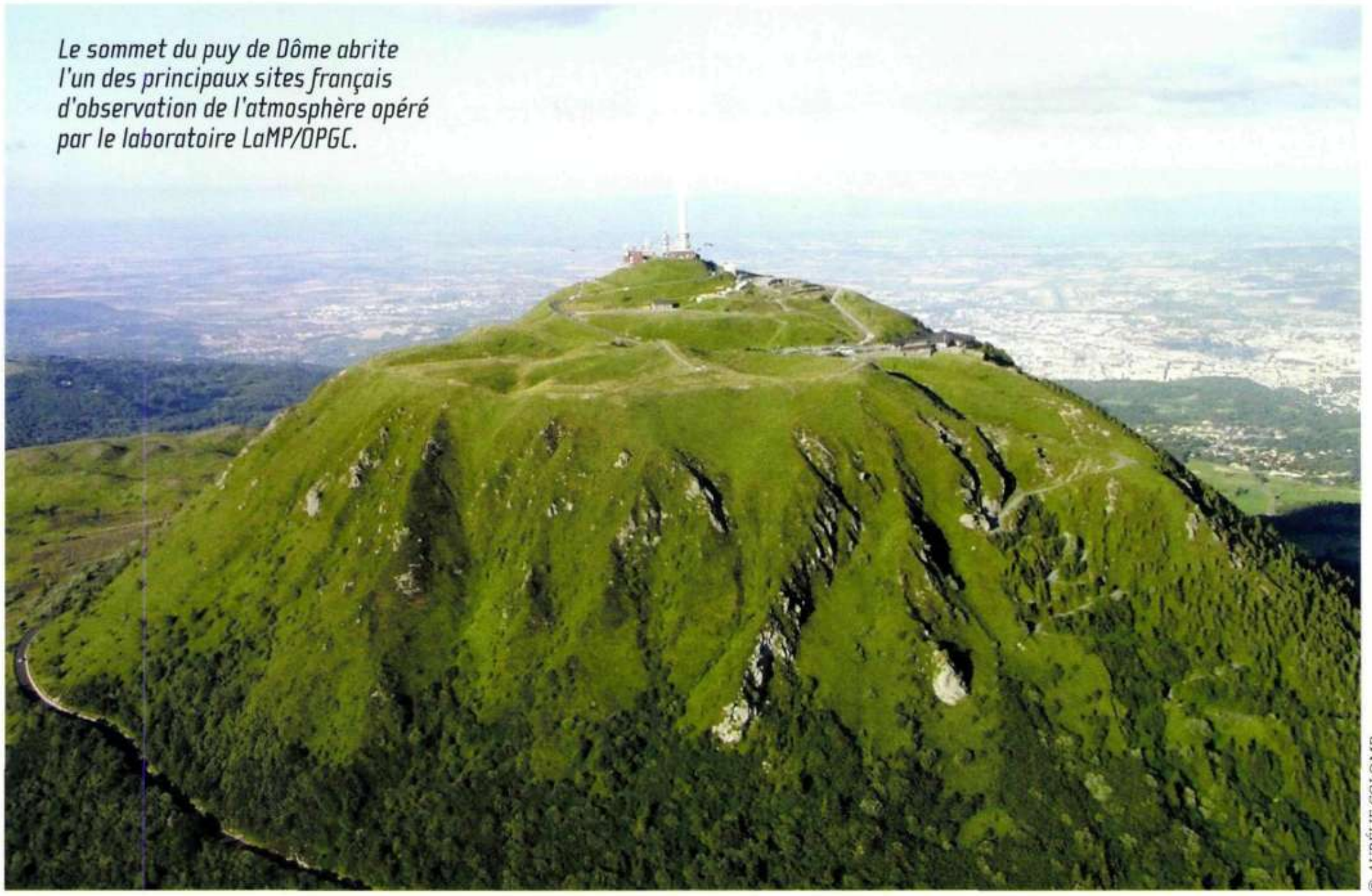
COMPOSÉS GAZEUX COURANTS

NO_x (NO, NO_2) Oxydes d'azote	Foudre, installations de combustion, véhicules automobiles, engrais azotés participent à la formation de l'ozone polluant.
So_2 Dioxyde de soufre	Éruptions volcaniques, combustion du charbon, du fioul.
CO Monoxyde de carbone	Trafic routier, chauffage participent à la formation de l'ozone polluant.
O_3 Ozone	Polluant secondaire, se forme à partir d'autres polluants.
COV Composés organiques volatils Vaste famille de polluants comprenant le benzène, le formaldéhyde, etc.	Forêts, transports, industrie chimique, chauffage individuel, traitements agricoles (pesticides, engrais) participent à la formation de l'ozone polluant.
POPs Polluants organiques persistants dont HAP Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Combustions incomplètes (incinération des ordures, métallurgie, incendies de forêt, moteurs Diesel). Souvent liés aux particules.
Métaux lourds : plomb, mercure, cadmium, nickel, zinc, etc.	Combustion du charbon, du pétrole, des ordures ménagères. Généralement liés aux particules.

PARTICULES

PM_{10} (particules inhalables < 10 µm) $PM_{2.5}$ (particules fines < 2,5 µm)	Pollens, fumées, poussières provenant de l'érosion et des éruptions volcaniques, fumées des combustions, du trafic routier, des industries, poussières des carrières, des cimenteries. Servent souvent de véhicules à d'autres polluants.

Source : ADEME



Le sommet du puy de Dôme abrite l'un des principaux sites français d'observation de l'atmosphère opéré par le laboratoire LaMP/OPGC.

© AURÉLIE COLOMB

et leur maîtrise particulièrement difficiles. L'ozone se forme ainsi à partir de composés organiques volatils et d'oxydes d'azote, réaction activée par l'ensoleillement.

Troisième mauvais élève de la pollution, les NO_x. Ces oxydes d'azote résultent de la combustion des combustibles fossiles, les transports étant aujourd'hui leur principale source, devant l'industrie. Les niveaux d'oxydes d'azote sont également liés à des processus chimiques dans l'atmosphère et dépendent des conditions météorologiques et de l'ensoleillement. Dans la famille NO_x, c'est le dioxyde d'azote (NO_2) qui est le plus nocif et le plus réglementé.

De par son impact sur la santé des populations, la pollution de l'air est reconnue comme un véritable problème de santé publique. Concernant les polluants les plus préoccupants, comme l'ozone, le dioxyde d'azote, ou les particules fines, des corrélations ont ainsi été observées entre l'exposition à ces polluants et la mortalité cardio-respiratoire. Une relation causale est maintenant admise par la communauté scientifique entre expositions aux particules et impact sur la santé. Globalement, les impacts de la pollution de l'air se traduisent par des affections et insuffisances respiratoires, maladies cardio-vasculaires, asthme, cancer du poumon…

LE SUJET EST D'AUTANT PLUS PRÉOCCUPANT, et justifie les mesures prises notamment dans le cadre des lois portant engagement pour l'environnement, que les populations les plus affectées sont celles des villes, qui en France réunissent déjà plus de 70 % de la population, chiffre appelé à croître. Paradoxalement, si les personnes interrogées sont préoccupées par la pollution de l'air, elles ne se sentent pas directement concernées et ne font pas forcément le lien avec leurs actions individuelles. D'où un nécessaire effort de pédagogie.

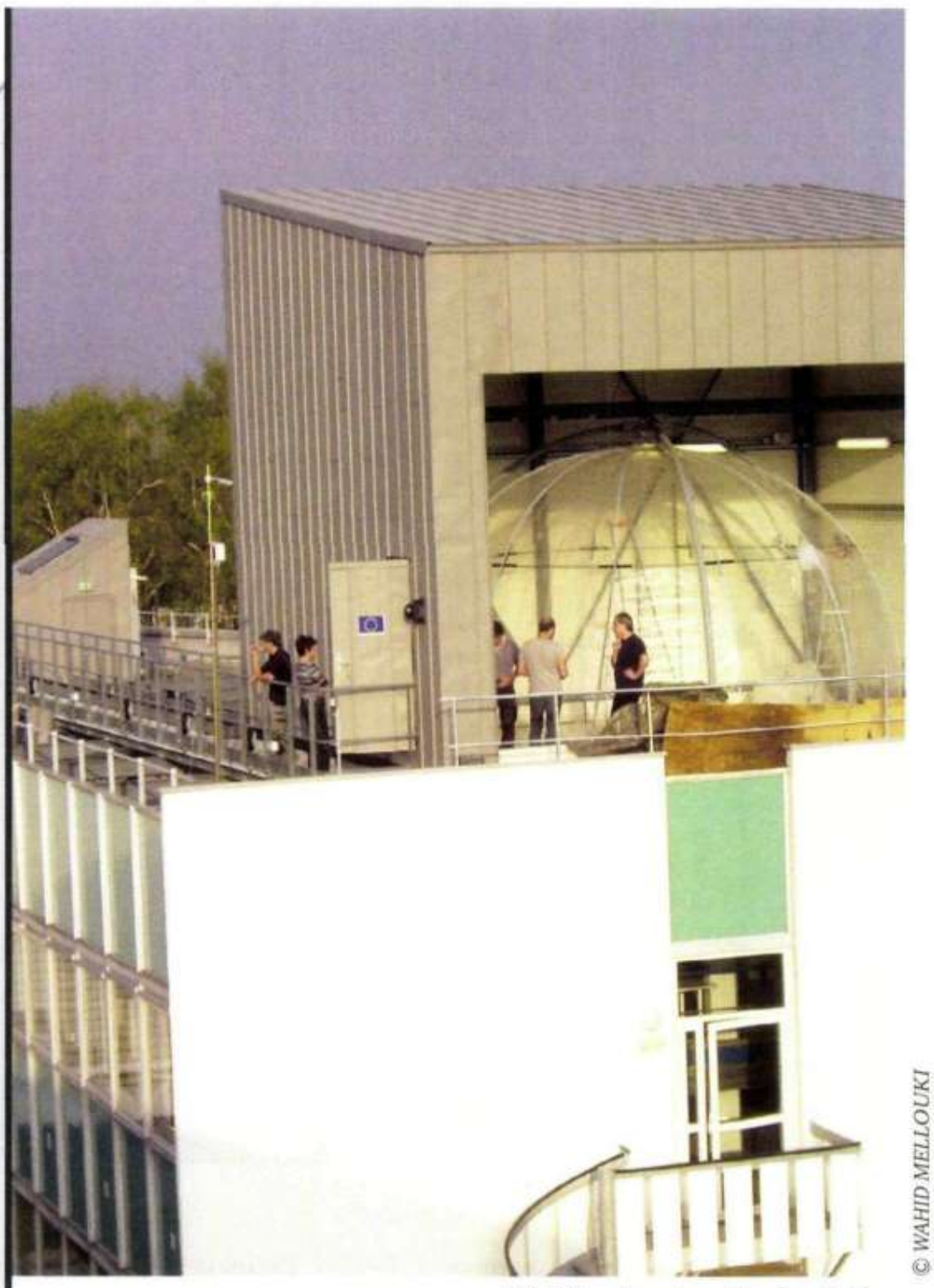
Et cet impact sur la santé a un coût : diverses études ont permis d'estimer le coût sanitaire de la pollution entre 20 et 30 milliards d'euros en France, soit de l'ordre de 400 à 500 euros par habitant. Ce qui n'est pas négligeable. D'autant que les effets environnementaux de la pollution de l'air viennent s'ajouter aux effets sur la santé : diminution de la croissance chez les végétaux, nécroses foliaires, pluies acides, perturbation des écosystèmes aquatiques et terrestres, altération des matériaux et du patrimoine immobilier…

Mais la qualité de l'air, c'est aussi un marché économique. Il est estimé à plus de 4,4 milliards d'euros avec un fort potentiel de croissance. Le nombre d'emplois directs liés à la qualité de l'air devrait atteindre 15 000 postes en 2020. Dans les pays en développement et les pays émergents, les besoins en matière de qualité de l'air sont considérables. La bonne nouvelle est que les industriels français sont plutôt bien placés par rapport à leurs concurrents. Ils disposent des technologies avancées, que ce soit dans le domaine de la mesure, de la modélisation ou du traitement des émissions (COV, NO_x, particules…). La Fédération interprofessionnelle des métiers de l'environnement atmosphérique (Fimea), créée en 2010, s'est donné pour

L'AIR INTÉRIEUR AUSSI !

Rentrer chez soi et fermer portes et fenêtres pour se protéger de la pollution de l'air n'est pas la bonne solution. On a en effet pris conscience depuis quelques années que la qualité de l'air intérieur, celui des habitations, lieux publics, bureaux... laisse elle aussi sérieusement à désirer. Inquiétant lorsqu'on sait que nous passons environ 80 % de notre temps à l'intérieur de locaux. Moisissures, fibres, composés organiques volatils, monoxyde de carbone, formaldéhyde, acariens... font parties des polluants les plus fréquents. Mais comparées aux données disponibles sur l'air ambiant, les connaissances relatives aux sources et aux niveaux de contamination sont encore fragmentaires. C'est à l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), créé en 2001, qu'il revient d'identifier les causes et les substances affectant la qualité de l'air intérieur, à évaluer leurs concentrations ainsi que l'exposition de la population et les risques, que ce soit dans les logements, les bureaux ou les lieux fréquentés par le public (écoles, crèches...).

Côté industriel, de nombreuses entreprises s'intéressent au sujet, et cela dans tous les domaines. Une société comme Beewair a par exemple développé une technique originale (DBD-Lyse) pour décontaminer l'air intérieur.
Airsûr propose une offre intégrée pour les milieux industriels comprenant l'analyse, la mesure et le traitement de l'air pollué.
LCB vise l'industrie alimentaire et joue la carte inverse en utilisant la voie aérienne pour... la décontamination des locaux.
Arcom intègre des technologies de détection des pollutions (COV, ammoniac...) et de décontamination au sein de ses systèmes de gestion technique du bâtiment.
La problématique de la qualité de l'air intérieur constitue aujourd'hui une préoccupation majeure du secteur du bâtiment. Cela d'autant que les économies d'énergie militent pour des bâtiments de plus en plus étanches, ce qui nécessite de gérer de façon performante le renouvellement d'air (ventilation, aération) afin de maintenir une qualité de l'air intérieur satisfaisante.



© WAHID MELLOUKI

HELIOS, chambre de simulation atmosphérique à irradiation naturelle d'Orléans pour l'étude des processus atmosphériques.

ambition de fédérer et structurer la filière sur toute la chaîne de valeur, de l'industrie à l'innovation, au travers des sociétés d'ingénierie ou de service de ce secteur composé en grande partie de TPE/PME. En tout juste deux ans, elle compte déjà une cinquantaine de membres. *«Entre autres actions, elle a vocation à développer le rapprochement de la recherche avec les entreprises pour créer de la valeur par les transferts de technologie»*, déclare Étienne de Vanssay, président de la Fimea.

DEUX LEVIERS D'ACTION. En France, l'ADEME joue un rôle clé en matière de qualité de l'air. L'Agence appuie le ministère en charge de l'Écologie dans la mise en œuvre des politiques visant à réduire la pollution atmosphérique. Elle intervient ainsi en jouant sur les deux leviers possibles pour le faire. D'abord sur la recherche, en initiant des travaux de recherche. L'objectif est de mieux connaître l'origine de polluants, leur évolution dans l'air, ainsi que leurs impacts. De quoi concevoir, expérimenter et évaluer des mesures et des actions pertinentes.

Le second levier d'action consiste à travailler sur les émissions. Dans cette optique, l'Agence soutient le développement de technologies propres et de solutions de réduction des émissions à la source. Un socle nécessaire pour accompagner les collectivités dans la mise en place des plans d'amélioration de la qualité de l'air, les entreprises pour la réduction de leurs émissions (industrie, trafic, combustion, agriculture...) et les particuliers dans leurs prises de décisions quotidiennes (transports, logement...). ■■

Un important dispositif de recherche

Pour la recherche, améliorer la qualité de l'air signifie recenser les polluants, déterminer leur origine et comprendre leurs déplacements. Cela afin de prévoir leur évolution et de fixer les moyens d'action pour les diminuer.

Déterminer la source des polluants est un beau challenge pour les chercheurs, car le problème est d'une extraordinaire complexité. À l'instant t en un lieu x, la pollution est en effet la superposition d'émissions locales, mais aussi de polluants venus de centaines, voire de milliers de kilomètres… Qui plus est, de nombreux polluants résultent d'interactions chimiques complexes au sein de l'atmosphère, ce qui rend très ardue l'identification précise de leurs sources. Outre ces réactions chimiques dans l'air, le niveau de pollution est affecté par le mouvement des masses d'air, la topographie, l'ensoleillement, la pluie… Sans compter les effets croisés avec le changement climatique.

Mesure et simulation (numérique ou physique) sont les deux instruments clés de cette recherche. Ils interagissent étroitement. En France, ces travaux sont en particulier menés par une dizaine de laboratoires dont la plupart sont regroupés au sein de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU). L'institut, à travers ses laboratoires, possède notamment plusieurs grands instruments de mesure.

Afin de structurer les travaux scientifiques sur l'air, des programmes sont mis en place par les différents acteurs français soutenant la recherche. L'INSU pilote ainsi les programmes pluripartenaires LEFE (Les enveloppes fluides et l'environnement) et MISTRALS (Mediterranean Integrated STudies at Regional And Local Scales). Le ministère chargé de l'Écologie et l'ADEME copilotent PRIMEQUAL, Programme de recherche interorganisme pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale. Autre exemple, CORTEA, à l'ADEME, traite des connaissances, de la réduction à la source et du traitement des émissions dans l'air.

Les efforts des chercheurs ont permis de développer des outils de mesure ou de modélisation qui sont actuellement utilisés de façon opérationnelle pour la surveillance de la qualité de l'air. C'est le cas de la plate-forme PREV'AIR, mise en place par un consortium INERIS-Météo-France-INSU-ADEME. Elle diffuse quotidiennement via Internet des cartographies et prévisions, pour les trois jours à venir, de la qualité de l'air en France et en Europe.

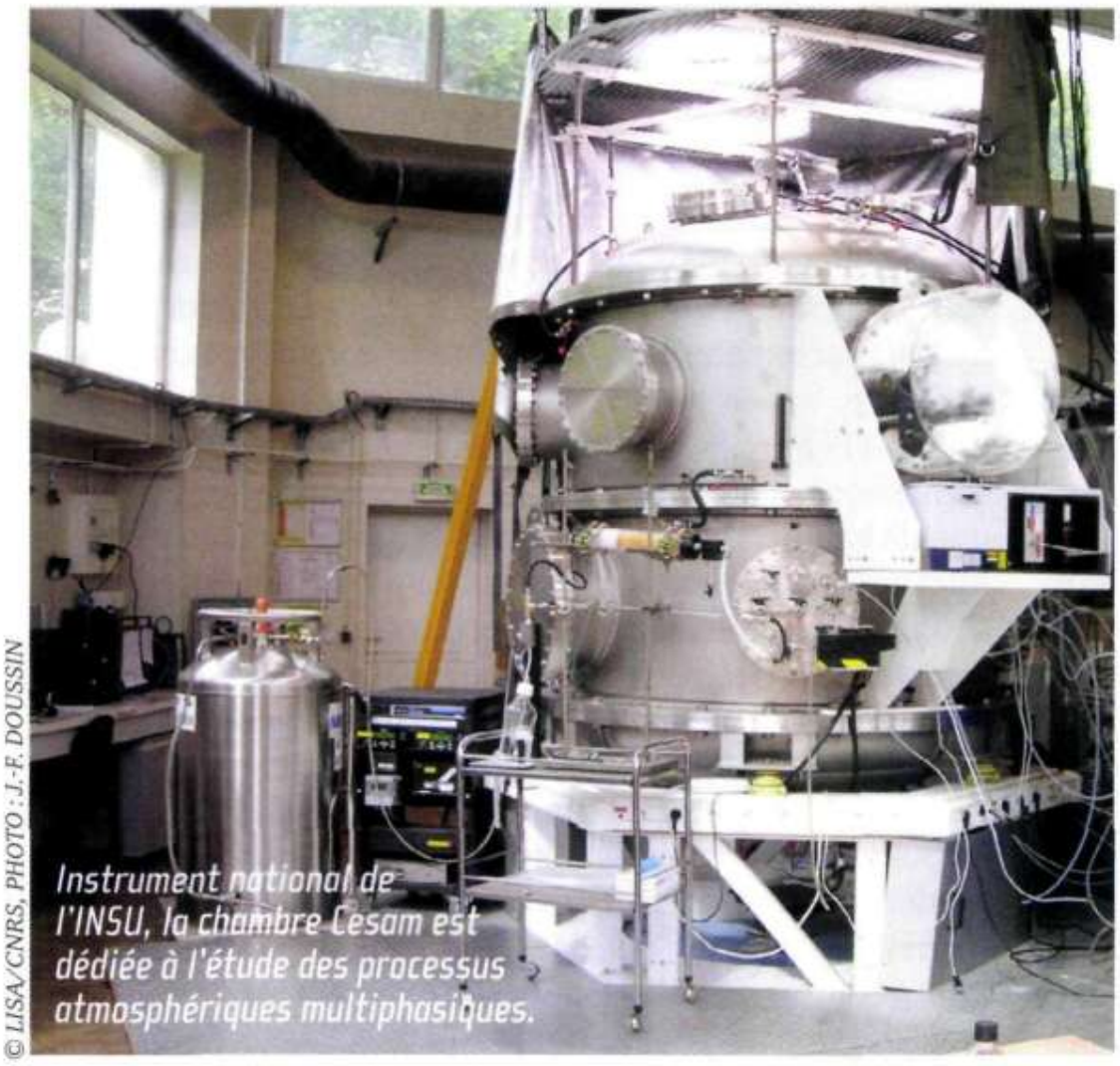
Au-delà de la France, plusieurs grands programmes de recherche européens sont concernés par la pollution atmosphérique. GMES (Global Monitoring for Environment and Security), le programme d'observation de la Terre, comporte un important volet sur le sujet. D'autres programmes européens sont en cours, dont trois, IAGOS, ACTRIS, ICOS, constituent la pierre angulaire des observations pour le climat et la qualité de l'air en Europe. Complémentaires aux observations par télédétection depuis l'espace, ces projets fournissent à l'ensemble de la communauté scientifique les informations les plus pertinentes sur l'évolution de la composition atmosphérique.

IAGOS a équipé des avions de ligne avec des instruments sophistiqués pour effectuer des mesures de gaz et d'aérosols dans la haute troposphère. ICOS et ACTRIS forment un réseau international de stations d'observation au sol pour le suivi des gaz à effet de serre (ICOS) et des aérosols (ACTRIS). Ces initiatives européennes, dans lesquelles la France joue un rôle moteur, viennent en complément des observations réglementaires et fournissent un ensemble unique de paramètres sur l'évolution de la composition atmosphérique loin des sources de pollution. Ces observations sont ensuite utilisées dans les modèles de prévision du climat et de la qualité de l'air au sein d'un système intégré qui, dans le futur, pourrait être très similaire à celui de la prévision météorologique. ■■

© L. TAROZZI - ISAC-CNR

Durant la campagne PEGASOS en 2012, ce dirigeable a survolé l'Europe pour comprendre les liens entre pollution et climat.

DÉFI 1 Déterminer la source des émissions



© LISA/CNRS, PHOTO : J.-F. DOUSSIN

Instrument national de l'INSU, la chambre Cesam est dédiée à l'étude des processus atmosphériques multiphasiques.

Déterminer la provenance des polluants exige de connaître leur source physique mais aussi de découvrir leur origine géographique, sachant que les substances polluantes ont le goût du voyage au long cours.

Les sources de polluants sont extrêmement diverses. Elles sont biogéniques comme les forêts qui émettent des composés organiques volatils (COV), précurseurs de l'ozone. Elles sont anthropiques, et l'agriculture comme l'industrie, les transports ou le bâtiment (chauffage) ajoutent chacun leur pierre à l'édifice.

Les émissions par types de source sont assez bien identifiées. Par exemple, les transports sont notamment responsables de la présence d'oxydes d'azote et de particules fines. La combustion de biomasse produit des $PM_{2.5}$ et des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). L'agriculture est notamment source d'ammoniac, de méthane et de PM_{10}. L'industrie rejette des COV et des métaux lourds.

Pour les polluants secondaires, l'affaire se complique. Produits des transformations chimiques dans l'atmosphère des polluants primaires, ils sont souvent plus nuisibles, sont beaucoup plus nombreux et forment des mélanges extrêmement complexes. Les chercheurs ont donc recours à des chambres de simulation atmosphérique. Il s'agit « simplement » de reconstituer des atmosphères simplifiées, de les soumettre à un rayonnement solaire simulé – et, polluant par polluant, de calculer la vitesse à laquelle ils se transforment, d'en élucider le mécanisme, de déterminer leur capacité à produire de l'ozone, des photo-oxydants ou des particules, de caractériser la toxicité de leurs produits secondaires, bref de produire les données pour construire les modèles numériques.

De tels outils sont rares car ils sont nécessairement lourds et puissamment équipés. L'un d'entre eux, CESAM (Chambre expérimentale de simulation atmosphérique multiphasique), une enceinte superéquipée d'un volume de 4,2 m^3, est installée au LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques, Paris). Elle est dédiée à l'étude des processus atmosphériques multiphasiques telles que la formation des aérosols secondaires ou la réactivité des composés gazeux en phase nuageuse. CESAM fait partie du consortium européen Eurochamp-2 qui réunit 14 partenaires. Ce consortium a déjà une réussite à son actif : la création d'une base de données d'expériences en libre accès, qui est largement utilisée pour l'établissement de mécanismes décrivant la dégradation des polluants atmosphériques.

Remonter à la source des émissions est un vrai travail d'enquête. Il nécessite en premier lieu d'acquérir des données. C'est ce que font en permanence les laboratoires de recherche à l'aide d'une multiplicité d'instruments *(voir page 79)*. Ils permettent de faire l'inventaire des composants chimiques – gaz, particules… – présents dans l'atmosphère en un lieu donné. Des campagnes de mesures ponctuelles complètent ces inventaires.

Une fois ces données recueillies, le rôle du chercheur est de parvenir à identifier les espèces chimiques typiques de chaque source d'émission. Et ce sont les outils de chimie analytique qui lui permettront de le faire. Toute une batterie d'outils est utilisée en parallèle : mesures par chromatographie gazeuse et liquide, par spectrométrie de masse, par méthodes optiques. Ils permettent d'étudier la composition chimique des particules, et ses caractéristiques – ses signatures chimiques – apportent des éléments qui, par combinaison et recoupement, tendent à l'identification des sources : combustion de biomasse, combustion d'énergie fossile, etc. Souvent, mais… pas toujours. Certaines émissions primaires, comme celles des particules ultrafines, restent mal connues. Il en va de même pour de nombreux aérosols secondaires d'origine organique, alors que leurs homologues inorganiques sont mieux cernés. ■

DANS LES LABOS

L'impact des mégapoles

© CHRISTIAN WEISS/ADEME

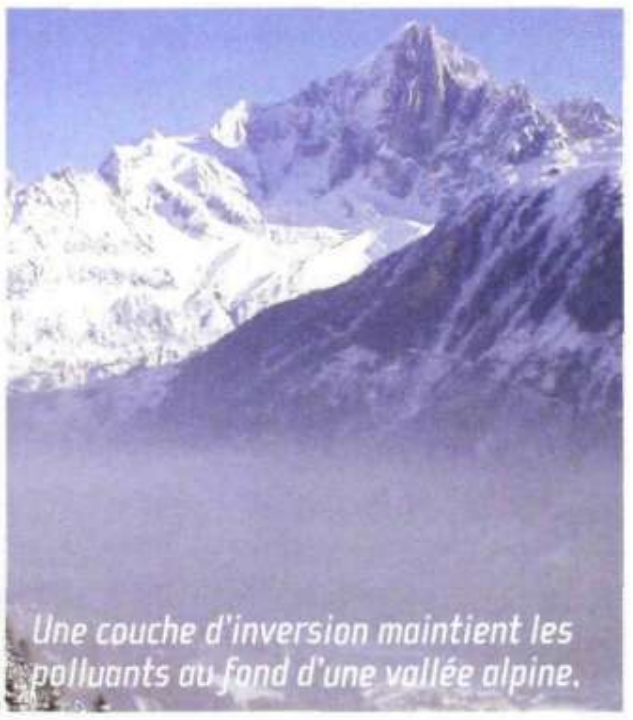
Megapoli* est un vaste programme de recherche européen mené entre 2008 et 2011. Réunissant plus de 20 partenaires européens, il visait un objectif précis : étudier l'impact des mégapoles sur la qualité de l'air. Avec aussi l'ambition de parvenir à mieux comprendre l'origine des particules fines. *«Les émissions primaires comme celles des particules carbonées étaient mal connues. Il en était de même pour les aérosols organiques secondaires formés à partir de précurseurs gazeux»,* précise Matthias Beekmann. Ce chercheur du LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques, Paris) représentait le CNRS au sein de ce projet. Paris s'est imposé comme la mégapole de choix pour cette étude. Deux campagnes de terrain intensives ont été menées en 2009 et en 2010. Elles comprenaient trois sites de mesure au sol représentant le fond urbain, équipés notamment de récents spectromètres de masse propres à bien analyser les aérosols. S'y ajoutait également l'utilisation d'un avion (ATR 42) instrumenté. De quoi élargir l'étude au long panache issu de la ville. Les résultats de Megapoli sont significatifs. Et parfois étonnants. Ainsi, il s'avère que l'origine des particules fines est très majoritairement extérieure à la ville et qu'elles viennent de loin. Autre constatation : les aérosols organiques semblent principalement issus de sources non fossiles : en hiver, la combustion de biomasse, et en été, les émissions de la végétation (à savoir les composés organiques volatils qui en sont issus). Enfin, les simulations réalisées à partir des données recueillies ont montré qu'en moyenne l'influence à moyenne distance (200 km) des émissions de la mégapole est assez faible : quelques pour-cent seulement de particules fines. Cela dit, bien que l'impact de la mégapole parisienne sur la pollution en particules fines se soit avéré plus faible que prévu, il subsiste des problèmes de pollution locale pour certains polluants, notamment des suies et les particules d'un diamètre inférieur à 10 µm.

** Laboratoires français impliqués : LISA, LSCE, GAME-CNRM, LaMP, LCE, LGGE, SAFIRE, AirParif, INERIS, IPSL, LATMOS, LMD, Écoles des Mines, CEREA, ARIA, LEOSPHERE.*

DANS LES LABOS

Les vallées alpines scrutées à la loupe

Les vallées alpines sont l'objet d'une problématique singulière du point de vue de la pollution atmosphérique : elles cumulent deux caractéristiques qui les rendent particulièrement sensibles. La première tient à ce que l'essentiel de la population et des activités – et donc les émissions de polluants – est concentré en fond de vallée. La seconde, due aux conditions météorologiques avec des inversions de température à basse altitude particulièrement fortes dans ces vallées étroites, est responsable d'une circulation limitée de l'air et donc de mauvaises conditions de dispersion de ces polluants. Pour ces raisons, ces vallées font l'objet depuis une dizaine d'années d'une attention soutenue. *«Nous avons mené plusieurs actions pour étudier la pollution atmosphérique et déterminer l'origine des polluants»,* déclare Jean-Luc Jaffrezo, directeur adjoint du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE), qui rassemble à Grenoble une centaine de personnes. Avec ses partenaires (Air Rhône-Alpes, LCME-Chambéry), le LGGE a donc mené différentes campagnes de mesures permettant de réaliser des prélèvements de particules atmosphériques (de l'ordre de 10 mg de matière). Ils sont ensuite analysés à l'aide de tout un arsenal d'outils de chimie analytique. Cela permet de qualifier précisément le niveau de pollution et de tenter de déterminer ses origines. Dans le cas des vallées alpines, il s'avère que les concentrations en polluants sont beaucoup plus fortes en hiver qu'en été – à cause de ces couches d'inversion – et qu'une des sources principales des polluants est… le chauffage individuel au bois avec des appareils peu performants, mais également le brûlage à l'air libre. *«Nous avons également constaté une présence significative de BaP* [Benzo a Pyrène], *une substance réglementée et qui doit être surveillée. L'un des objets de nos recherches est de proposer une méthode pour en déterminer les origines.»* Autre thème de travail : *«Il est très important de mesurer la hauteur de la couche d'inversion de façon à pouvoir prévoir son évolution, ce qui permettrait d'anticiper les épisodes de forte pollution »*, conclut Jean-Luc Jaffrezo.


© AIR- APS

Une couche d'inversion maintient les polluants au fond d'une vallée alpine.

DÉFI 2 Évaluer pour agir

Facile à dire. Mais difficile de savoir au final quelles sont les émissions globales des différents polluants atmosphériques. Comment en effet quantifier les émissions de l'ensemble de la biosphère – les arbres (COV), les animaux (méthane)… – ou celles de l'ensemble des industries, ou celles de tous les véhicules en circulation ?

« ***Le plus souvent,*** *on en est réduit à faire des estimations, et l'incertitude est assez grande* », explique Paolo Laj, directeur du LGGE (Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement), unité mixte de recherche CNRS et Université de Grenoble 1. Il est pourtant nécessaire, notamment pour les décideurs, d'en savoir plus, pour fixer des objectifs, mettre en place des actions et vérifier que les engagements pris sont tenus.

Pour en savoir plus, la solution consiste à mener en continu des observations afin de déterminer la composition de l'atmosphère et de suivre son évolution. Ces observations menées par des laboratoires de recherche ne doivent pas être confondues avec la surveillance de certains composés visés par les directives européennes sur la qualité de l'air. En France, cette activité de surveillance est réalisée sur tout le territoire, principalement à proximité des lieux de vie des populations, par 26 Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Elles effectuent un suivi quotidien de la dizaine de polluants réglementés (NO_2, ozone, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$, métaux lourds, HAP…). Leur rôle est principalement de diffuser les résultats de ces mesures et des prévisions, et de transmettre aux préfets des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassement des seuils d'alerte.

LA SOLUTION CONSISTE À MENER EN PERMANENCE DES OBSERVATIONS.

Les observatoires de recherche, eux, ont un tout autre objectif : comprendre les phénomènes mis en jeu et prévoir l'évolution future. Les mesures effectuées portent ainsi sur tous les composants d'intérêt présents dans l'atmosphère – gaz réactifs, particules, gaz à effet de serre… – et pas uniquement ceux qui font l'objet d'une réglementation. En outre, des mesures sont effectuées en trois dimensions, afin d'évaluer la composition chimique de la colonne atmosphérique. Tout est bon d'ailleurs pour recueillir les informations : des stations au sol ou en altitude ; des bateaux ; des avions super-équipés comme l'ATR 42 du programme Safire (CNRS, Météo-France, CNES), voire des avions de ligne ; et même des satellites comme MetOp qui permet d'étudier d'en haut l'ozone présent dans l'atmosphère *(voir page 81)*.

Après le recueil de données, entre en scène la simulation numérique, outil privilégié de la recherche. Les connaissances des chercheurs sur les mécanismes de formation des polluants et de leur transport dans l'atmosphère sont mises en équations et entrées dans des modèles numériques. Forts des données acquises sur le terrain, les modèles numériques, à l'instar des logiciels utilisés pour la météo, fournissent des prévisions à court, moyen et long termes. L'intérêt de ces simulations est en particulier de pourvoir étudier des scénarios d'évolution de la pollution atmosphérique en fonction de différents paramètres et de déterminer les efforts à entreprendre. Elles constituent ainsi un précieux outil d'aide à la décision pour les acteurs publics leur permettant de s'appuyer sur des données scientifiques de façon à définir et évaluer les nouvelles réglementations.

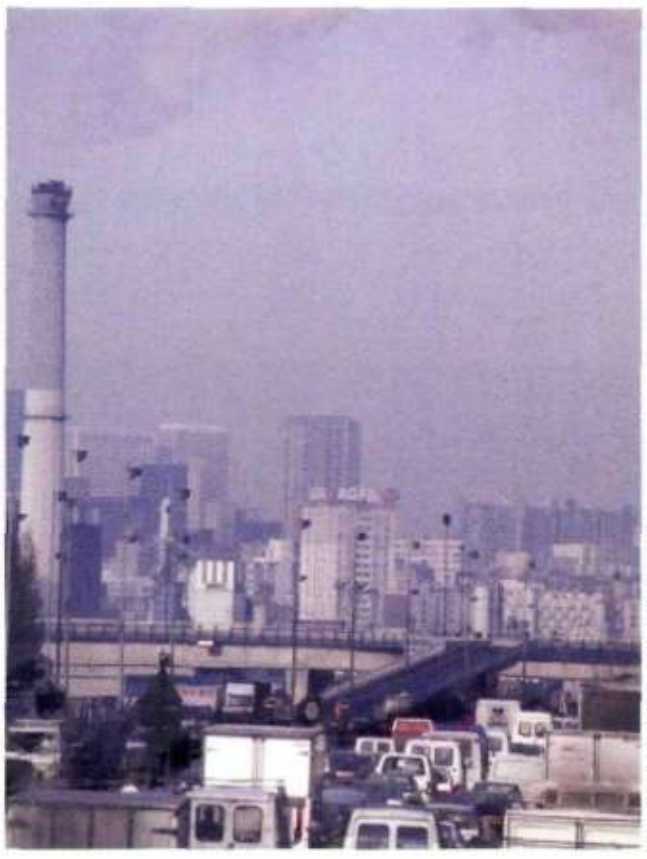
Les données acquises sur le terrain sont donc indispensables pour valider les modèles qui les utilisent. Rien de tel en effet qu'une comparaison entre les résultats obtenus par la simulation et les valeurs réelles pour juger de la pertinence du modèle. C'est ainsi qu'évoluent non seulement les modèles, mais surtout la description des mécanismes sur lesquels ils reposent. ■■

MODÈLES DE QUALITÉ DE L'AIR

Plusieurs modèles de qualité de l'air ont été développés en France au cours des derniers dix à quinze ans, dont CHIMERE (par le Laboratoire de météorologie dynamique-LMD, l'INERIS et le LISA), MOCAGE (par Météo-France) et Polyphemus (par le CEREA). Ces modèles sont aujourd'hui mis en œuvre pour l'interprétation scientifique des campagnes de mesures, ou encore pour simuler les effets de réduction d'émissions sur la qualité de l'air. Les simulations de CHIMERE à l'échelle de l'Europe et de MOCAGE à l'échelle globale sont aujourd'hui utilisées dans le système PREV'AIR (mis en œuvre par l'INERIS) pour la prévision de la qualité de l'air à l'échéance de quelques jours. Dans le cadre du programme européen GMES (Global Monitoring for Environment and Security), une approche originale consiste à utiliser plusieurs modèles de qualité de l'air conjointement pour optimiser cette prévision.

DANS LES LABOS

Que se passerait-il si... ?



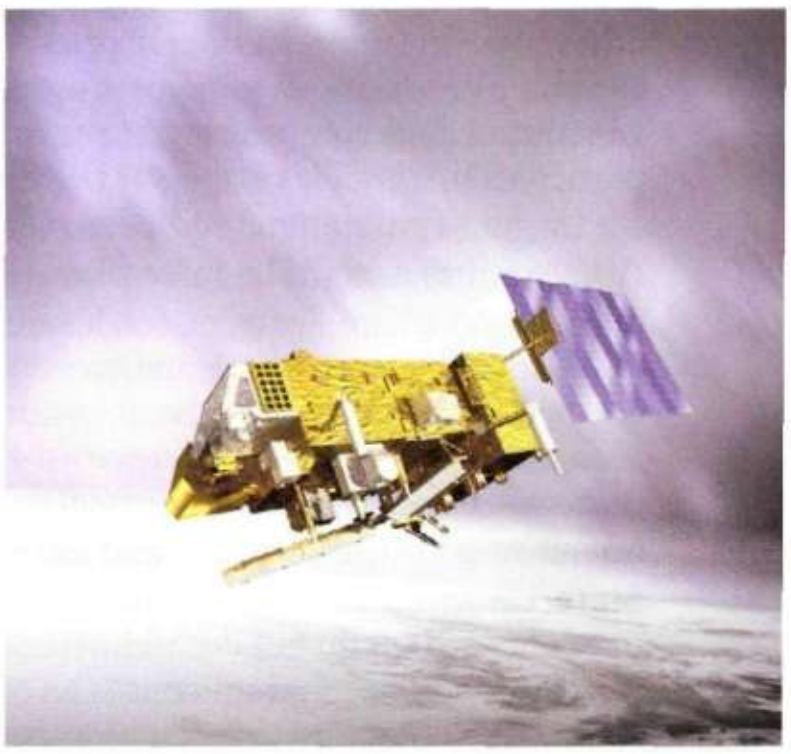
© CHRISTIAN WEISS/ADEME

Au début de l'année l'ADEME a demandé à deux laboratoires de recherche d'effectuer une série de simulations numériques. Le programme Air 2030 vise à étudier l'évolution de la qualité de l'air à long terme dans les zones fortement urbanisées sur la base d'un scénario d'évolution des consommations d'énergie élaboré par l'ADEME à l'horizon 2030. Les laboratoires sont le LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques) et le CEREA (Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique). Trois villes de France, de différentes tailles, servent de base à cette étude. De nombreux scénarios seront testés, couvrant les principales sources d'émission puisqu'ils concernent aussi bien l'énergie (impact par exemple des modes de chauffage), que les transports (impact de l'évolution des modes de transport, de la modification du parc de véhicules...), l'agriculture et l'industrie. *« L'objectif est de tester différentes hypothèses pour mieux comprendre les liens entre émission et concentrations atmosphériques de polluants, pour donner un retour scientifique sur les réductions d'émission proposées et anticiper les actions à mettre en œuvre. Le programme permettra également de voir les impacts croisés air-climat »*, explique Isabelle Coll, chercheuse au LISA. Le programme, d'une durée de deux ans, possède une originalité. Il fait travailler en parallèle deux laboratoires qui disposent chacun d'un outil de simulation. CHIMERE pour le LISA ; Polyphemus pour le CEREA. *« Une analyse comparative et statistique des résultats obtenus avec chacun des modèles sera menée. Elle doit nous conduire à une estimation chiffrée des incertitudes sur les prévisions à long terme fournies par les simulations »*, poursuit Isabelle Coll. Une façon donc d'estimer la robustesse des résultats.

DANS LES LABOS

La qualité de l'air se mesure aussi d'en haut

Depuis 2006, le satellite MetOp (ESA et Eumetsat) tourne autour du globe. Il recèle notamment un instrument conçu par le CNES : IASI. Cet interféromètre permet de mesurer divers composants chimiques présents dans la basse troposphère, en particulier l'ozone. *« Grâce à des méthodes mathématiques assez complexes, nous parvenons à analyser le profil vertical de l'ozone, c'est-à-dire la façon dont sa concentration varie avec l'altitude »*, raconte Gaëlle Dufour, chercheuse au LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques). Le but de cette mesure est de mieux comprendre les processus de formation et de transport de l'ozone de façon à améliorer la fiabilité des prévisions de la qualité de l'air. À cette fin, toutes les données acquises sont réinjectées dans un outil de modélisation de la qualité de l'air, CHIMERE, une opération qui exige elle aussi un traitement mathématique complexe. Ces données permettent à la fois d'établir des prévisions et... d'améliorer l'outil de simulation. *« L'avantage du satellite*, explique Gaëlle Dufour, *est sa couverture globale et en continu sur le long terme. »* Metop-A qui arrive en fin de vie sera d'ailleurs suivi de ses clones, un Metop-B puis un Metop-C. À eux trois, ils auront procuré au moins quinze ans d'observation de l'atmosphère. Depuis six ans, IASI a fourni quantité d'informations. *« La fiabilité des données est très bonne entre trois et quatre kilomètres d'altitude pour ce type de sondeur spatial. Désormais, nous voudrions améliorer nos mesures de l'ozone à plus basse altitude »*, précise Gaëlle Dufour. Pour cela, elle planche déjà sur des futures missions satellitaires qui embarqueront des instruments dédiés spécifiquement à la mesure de la qualité de l'air. De quoi améliorer considérablement les mesures proches de la surface terrestre. À long terme, le lancement d'un satellite géostationnaire permettrait d'améliorer la capacité de surveillance et de prévision des événements de pollution.



© ESA/EUMETSAT

DÉFI 3 Comprendre les liens avec le climat

Depuis quelques années, les spécialistes de la qualité de l'air et les climatologues ont pris conscience que qualité de l'air et réchauffement climatique ne sont pas indépendants l'un de l'autre, bien au contraire.

Les gaz et les particules étudiés dans le cadre de la pollution atmosphérique peuvent avoir un effet positif ou négatif sur le réchauffement climatique. Ainsi, certaines particules réfléchissent les radiations solaires et, ce faisant, participent activement à un refroidissement de la planète. D'autres en revanche, comme l'ozone, sont non seulement nocives du point de vue de la qualité de l'air mais, en plus, absorbent le rayonnement de la Terre ajoutant ainsi leur quote-part au réchauffement.

Comment ces processus évolueront-il dans un climat changé et quels impacts pourrait avoir cette évolution sur la qualité de l'air ? La question est au centre des débats scientifiques. Par exemple, un climat plus aride et plus chaud n'entraînera-t-il pas des concentrations plus importantes de particules fines dans l'atmosphère ? Moins de précipitations, ce qui est prévu en Europe de l'Ouest, conduirait en effet à un accroissement de la pollution, puisque l'action nettoyante de la pluie sur l'atmosphère serait amoindrie. D'un autre côté, une température plus élevée pourrait induire un surcroît d'émissions de composés organiques volatils par la végétation. Des composés qui se transforment ensuite en particules susceptibles d'agir sur le climat.

> LA RÉDUCTION DE LA POLLUTION GLOBALE POURRAIT CONDUIRE À UNE ACCÉLÉRATION DU RÉCHAUFFFFEMENT CLIMATIQUE !

Un grand programme européen mené entre 2007 et 2011 *(voir encadré)* a étudié les interactions entre les gaz présents dans l'atmosphère, les aérosols, les nuages et le climat. En guise de conclusion, il pose une question qui met clairement en évidence la problématique actuelle : « Pollution ou réchauffement climatique, faudra-t-il choisir ? » L'un des principaux résultats du projet est en effet que, globalement, les aérosols contribuent aujourd'hui à refroidir le système Terre. Mais cet effet positif pour la planète va fortement diminuer d'ici à 2030 du fait des réductions plus rigoureuses de la pollution atmosphérique mises en œuvre dans le monde entier. Autrement dit, la réduction de la pollution globale pourrait conduire à une accélération du réchauffement climatique ! Les études concernant les relations entre la pollution atmosphérique et l'évolution du climat sont ainsi devenues l'un des grands axes de la recherche sur la qualité de l'air ainsi que de la climatologie. En particulier, côté qualité de l'air, les chercheurs s'attachent désormais à faire évoluer et à affiner leurs modèles de façon à mieux prendre en compte l'impact sur le climat des mesures prises en faveur de la qualité de l'air. Ils sont également amenés à quantifier plus précisément les effets du climat sur la pollution et cherchent à mieux comprendre les mécanismes atmosphériques fondamentaux mis en jeu. ■■

EUCAARI : UN PROJET DE 15 M€ SUR L'INTERACTION POLLUTION-CLIMAT

EUCAARI, pour European Integrated Project On Aerosol Cloud Climate Air Quality Interactions, a étudié entre 2007 et 2011 les interactions entre les gaz présents dans l'atmosphère, les aérosols, les nuages et le climat.
Ce projet de 15 M€, financé aux deux tiers par la Commission européenne, regroupait 48 instituts de recherche de 24 pays. Acteurs français, le CNRS, Météo-France et les universités de Clermont-Ferrand, Grenoble, Toulouse, Lille, Lyon et Paris à travers leurs unités de recherche : Laboratoire de météorologie physique (LaMP), Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE), Laboratoire d'aérologie (LA), Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon (IRCELYON), Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA) et Laboratoire atmosphères, milieux, observation spatiale (LATMOS).
Le programme a mobilisé des plates-formes au sol, des avions et des satellites, non seulement en Europe, mais également en Chine, en Afrique du Sud, au Brésil et en Inde. Il témoigne de l'intérêt de ces grands projets internationaux, les seuls à autoriser de tels déploiements instrumentaux à même de fournir aux scientifiques les informations sur l'atmosphère dans toute sa complexité spatiale et temporelle. Les données recueillies lors de ces campagnes fournissent pendant de nombreuses années les entrées ou les contraintes pour les modèles de simulation de l'atmosphère.

INDUSTRIE AUTOMOBILE

La révolution des véhicules électriques

Renault, qui commercialise plusieurs modèles de véhicules électriques, peut aujourd'hui affirmer que ce type de motorisation est bénéfique pour la qualité de l'air. Il dispose en effet de résultats très précis pour en être aussi sûr. Ils sont le fruit d'une étude menée l'an passé à Rome en partenariat avec la municipalité et la société Aria Technologies. Le travail a consisté, à partir des données réelles des émissions de la ville de Rome, à comparer via la simulation numérique deux scénarios. Le but : mesurer l'impact du véhicule électrique sur la qualité de l'air à l'horizon 2020. Le premier scénario consistait à conserver le parc actuel projeté en 2020. Le second à se mettre dans la situation où, dans la zone à trafic limité du centre-ville, 25 % des véhicules (publics et de livraison, en particulier) seraient électriques ainsi que 10 % dans la zone périphérique.

La simulation a été faite à deux échelles : sur une large zone (50 x 50 km autour de Rome) et avec un maillage très fin (1 x 1 km). Les résultats sont significatifs. Martine Meyer, responsable Environnement Santé, chez Renault, indique ainsi qu'avec l'introduction des véhicules électriques *« la réduction des émissions s'étend de –14 % (pour les NO_x et PM10) à –30 % pour le CO et le benzène. En ce qui concerne la concentration de polluants dans l'atmosphère, à large échelle, la baisse atteint – 9 % avec le NO_2. Mais c'est à l'échelle "micro" que la baisse est la plus sensible. Dans les traditionnels points noirs de la ville, elle atteindrait – 30 % pour les PM_{10} et jusqu'à – 45 % pour le NO_2 ! Quant au benzène, il reste désormais en deçà des normes réglementaires »*. Autant de progrès qui se traduiraient en bénéfices immédiats pour la santé de la population.

La motorisation électrique a fait ses preuves.

© RENAULT

RÉGLEMENTATION

Des zones à circulation réduite

Le problème est clair. En zones urbanisées, les valeurs limites fixées pour les polluants atmosphériques sont souvent dépassées. Trois principaux polluants sont dans le collimateur : les PM_{10}, le dioxyde d'azote et l'ozone. Tous trois ont pour principale origine locale la circulation routière. La limitation de la circulation des véhicules les plus polluants dans les centres-villes est donc à l'évidence un moyen de diminuer cette pollution. Plusieurs villes européennes ont déjà mis en place des zones à circulation réduite, des LEZ, pour Low Emission Zone. En France, la loi Grenelle II prévoit la possibilité d'instituer à titre expérimental des zones de ce type dans les communes ou groupements de communes de plus de 100 000 habitants où une mauvaise qualité de l'air est avérée. La mesure socle de ce dispositif est la limitation, voire l'interdiction, de circulation des véhicules contribuant le plus à la pollution atmosphérique. Sont concernés les véhicules particuliers mais également les véhicules utilitaires, les bus, les poids-lourds, les deux-roues… les plus polluants. La mise en place de zones de ce type demande toutefois des solutions innovantes. Avant de se lancer, il est nécessaire d'abord de bien estimer le parc de véhicules circulant dans la zone et d'évaluer les gains réels sur la qualité de l'air des restrictions envisagées. Mais pas seulement. Il faut évidemment prendre également en compte les impacts socio-économiques et les conséquences sur les nuisances sonores ou les émissions de gaz à effet de serre notamment, et enfin l'acceptabilité sociale du dispositif et sa gouvernance. L'ADEME planche depuis un certain temps déjà sur le sujet afin d'identifier les scénarios les mieux adaptés à ces différentes contraintes. L'idée de base est de s'appuyer sur une réglementation nationale permettant de larges possibilités de déclinaisons locales afin de pouvoir prendre en considération les spécificités de chaque agglomération.

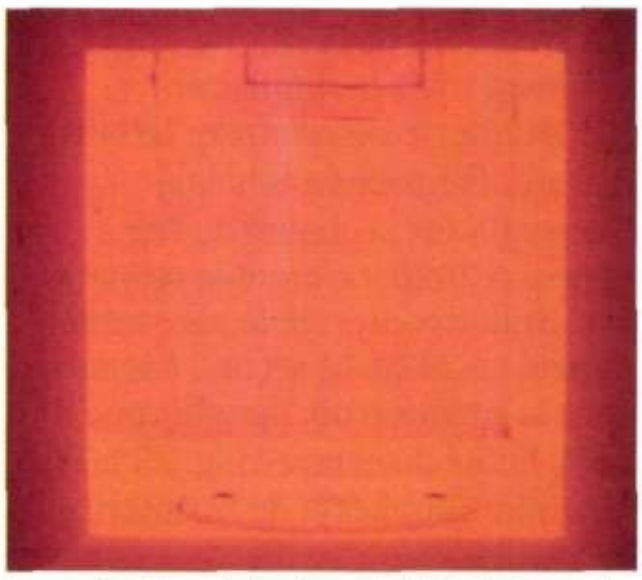
© CHRISTIAN WEISS/ADEME

La limitation de la circulation dans les centres-villes est un moyen de diminuer la pollution.

RECHERCHE

Combustion sans flamme pour l'industrie

L'ADEME a lancé en 2010 un programme de recherche sur quatre ans qui implique Gdf Suez et deux laboratoires académiques, le Coria (CNRS, université de Rouen et INSA de Rouen) et le laboratoire EM2C de l'École Centrale de Paris. Le but : parvenir à une combustion «sans flamme» dans les chaudières industrielles à gaz naturel. En réalité, il y a bien une flamme, mais elle est répartie à l'intérieur de la chambre de combustion. Cela a pour effet de la faire disparaître aux yeux de l'observateur car elle n'émet alors plus dans le visible. De tels dispositifs sont déjà utilisés dans des fours pour la sidérurgie qui travaillent à haute température. L'ambition est de mettre au point ce type de combustion dans des chaudières fonctionnant à plus basse température. Le programme vise un démonstrateur industriel à l'horizon 2020. Pourquoi brûler sans flamme ? Pour diminuer les émissions en NO_x. La formation de ces oxydes est en effet due à la transformation du N_2 atmosphérique en NO_x au contact de la flamme à haute température (plus de 1 000 °C). En répartissant la flamme de façon homogène, sa température est abaissée et la formation d'oxyde est divisée par un facteur au moins égal à 2. De quoi diminuer encore les émissions de NO_x de l'industrie. Elles ont considérablement baissé au cours de ces dernières décennies, mais les efforts doivent être poursuivis afin de respecter les seuils de plus en plus stricts des directives européennes en la matière. D'où cet accent mis sur l'industrie et la combustion de ses chaudières qui apporte une solution novatrice au problème.



© CORIA

Combustion sans flamme : répartie, la flamme disparaît et les émissions de NO_x diminuent.

ÉQUIPEMENT

Chauffage au bois : un village test

© MCZ

En hiver, il arrive fréquemment qu'un nuage de fumée plane au-dessus d'un village de moins de 1 000 habitants dans la vallée de la Maurienne. Mauvais pour l'image et la santé des habitants. Responsables : les conditions météo dans la vallée *(voir page 79)* et certains anciens appareils individuels de chauffage à bois très largement utilisées par les habitants. Ce problème a été à l'origine d'une initiative originale de la commune en lien avec l'ADEME. Pour la première fois en France, elle va mener une expérience à l'échelle d'un village. Les habitants vont être incités financièrement à remplacer leurs appareils de chauffage à bois – souvent d'au moins une quinzaine d'années – par un matériel très performant comme des appareils labélisés «flamme verte cinq étoiles». Ils permettent de diminuer de façon drastique les émissions de particules dans l'air. Cette solution permettra de valoriser la ressource bois et de l'économiser car ils ont un meilleur rendement. Au cours de l'opération, les habitants seront également sensibilisés sur le renforcement de l'isolation de leur logement, qui constitue le moyen le plus efficace pour réduire les besoins de chauffage. Parallèlement à ce programme, une campagne de mesures de la qualité de l'air est menée afin d'évaluer précisément l'impact du remplacement des appareils. Elle présente elle aussi son originalité. En plus des mesures classiques de particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$), des appareils scrutent également en continu les concentrations de carbone-suie, dans l'air. Il constitue un indicateur spécifique de la qualité de l'air qui permettra de bien discerner le rôle du chauffage au bois par rapport aux contributions des autres sources de particules. À ce jour, tous les travaux préliminaires ont été menés. L'installation des nouveaux appareils débutera en 2013.

Ce cahier spécial a été réalisé avec le soutien de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), du LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques), du LGGE (Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement), de la FIMEA (Fédération interprofessionnelle des métiers de l'environnement atmosphérique) et de Renault.
Rédaction : Franck Barnu • **Conception graphique et réalisation :** A noir.

idées

• **Les livres** p. 95
La sélection de la rédaction de *La Recherche*

• **L'agenda** p. 104
Les conférences, les expositions

• **Curiosités** p. 106
Les insolites de l'actualité scientifique

86 **L'entretien du mois**
avec Virginie Maris
« Les sciences de l'environnement ont besoin de la philosophie »
propos recueillis par Nicolas Chevassus-au-Louis

90 **Déchiffrage**
Moins de 50 % d'enfants blancs aux États-Unis ?
par Hervé Le Bras

91 **Le grand débat**
Surdité : pour ou contre les implants
avec Natalie Loundon, et Brigitte Lemaine

94 **L'invité**
Fabien Pelous
Je ne suis pas scientifique mais...
propos recueillis par Lise Loumé

100 **Histoire de science**
La naissance houleuse de la paléontologie
par Éric Sartori

© ILLUSTRATION REMI MALINGREY

Enfants sourds et médicalisation

Faut-il diagnostiquer les enfants sourds et les équiper d'implants, dès le plus jeune âge ? Le débat est vif. Il est aussi emblématique d'une avancée technologique et médicale mise au service d'une intention louable, mais qui pose question. En stimulant le centre neurosensoriel situé dans l'oreille interne, ce dispositif vise à récupérer une capacité de communication orale et ainsi favoriser l'intégration de ces enfants dans l'univers des entendants. Pour les médecins, plus l'implant est posé tôt, meilleurs sont les résultats. Ils souhaitent donc un diagnostic précoce, dès la maternité, et une décision rapide des familles. Face à eux, les sourds dénoncent une médicalisation forcée. Ils craignent, de plus, qu'elle se fasse au détriment de la langue des signes, socle de leur culture.

Hélène Le Meur

L'entretien du mois

Espèces invasives, réduction de la biodiversité, gestion des écosystèmes : l'écologie traite de questions qui recouvrent de fortes attentes sociales. La philosophe **Virginie Maris** *défend la nécessité d'une réflexion sur leurs aspects moraux et politiques.*

« Les sciences de l'environnement ont besoin de la philosophie »

Virginie Maris, née en 1978, a entamé des études de biologie à l'université de Grenoble avant de poursuivre en philosophie à l'université de Montréal, où elle soutient en 2006 sa thèse consacrée à la protection de la biodiversité. Chargée de recherche en philosophie au CNRS, elle travaille sur l'éthique environnementale et l'épistémologie des sciences de la conservation. Elle est notamment l'auteure de *Philosophie de la biodiversité. Petite éthique pour une nature en péril,* Buchet-Chastel, 2010.

LA RECHERCHE : Pourquoi la philosophe que vous êtes travaille-t-elle au sein d'un laboratoire de recherche en écologie du CNRS ?

VIRGINIE MARIS : Ma démarche est celle d'une philosophie pratique, qui part de problèmes concrets, réels, pour tenter de penser les rapports entre les êtres humains et les milieux naturels d'un point de vue plus général. Le centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier, au sein duquel je travaille, rassemble des chercheurs qui travaillent en écologie théorique et des chercheurs en sciences de la conservation, allant de la recherche la plus fondamentale jusqu'aux questions de gestion des espaces naturels. Cet environnement offre un cadre privilégié pour mes travaux en philosophie de l'environnement.

En quoi consiste cette discipline ?

V.M. Comme son nom l'indique, la philosophie de l'environnement est une branche de la philosophie qui s'intéresse aux nouveaux défis que pose la dégradation de l'environnement. Elle porte sur les connaissances que nous pouvons en avoir, sur les problèmes moraux que cela soulève, ou encore sur la façon dont le champ politique est susceptible de la prendre en charge. Personnellement, je m'intéresse à deux champs de recherche interdépendants : l'épistémologie de l'écologie et des sciences de la conservation, qui étudie les différents types de connaissances dont on dispose pour comprendre la biodiversité ; et l'éthique environnementale, qui interroge notre responsabilité morale vis-à-vis de sa conservation.

Comment interagissez-vous avec les biologistes ?

V.M. Plutôt bien ! J'ai par exemple participé à un groupe de travail sur les invasions biologiques. La notion d'espèce non indigène est loin d'être évidente. Elle repose sur l'idée que certaines populations « aliens » ne sont pas « à leur place » parce qu'elles ont été introduites, volontairement ou involontairement, du fait des activités humaines. Il faut alors définir des lignes de bases, temporelles, géographiques, ainsi qu'en termes de degré d'intervention humaine, pour distinguer les natifs des aliens. Travailler ce concept est important car les invasions biologiques sont considérées comme l'une des principales menaces pesant sur la biodiversité, du fait de l'intensification des échanges qu'entraîne la mondialisation. Parce que les espèces introduites n'ont pas coévolué avec les communautés natives, il y a une présomption de culpabilité contre toute espèce non indigène, toujours suspectée de devenir invasive.

Sait-on prédire comment vont évoluer les écosystèmes, par exemple dans le cas d'une invasion biologique ?

V.M. On aimerait bien, mais on en est encore très loin. N'oublions pas que l'écologie est une science encore jeune, un siècle tout au plus. Il me semble que l'ambition d'une écologie prédictive est partagée par tout le monde mais qu'elle se décline de deux manières. La première consiste à développer la théorie pour parvenir à prévoir les effets à partir des causes. Il y a derrière cette conception l'idée qu'il existe des lois de la nature, et que le but ›››

JOHN

L'entretien du mois

Virginie Maris

« Les sciences de l'environnement ont besoin de la philosophie »

>>> de l'écologie est de les décrire. La seconde ne relève pas de la connaissance théorique, mais plutôt de l'agir pratique : il s'agit de répondre aux attentes sociales et de fournir des outils afin d'anticiper les changements à venir, par exemple en élaborant des scénarios, ou de gérer les écosystèmes, comme s'y attellent l'écologie de la restauration ou l'ingénierie écologique. Or rien ne garantit que ces deux voies convergent. La prédiction qui vise l'action peut très bien fonctionner avec une faible connaissance des mécanismes écologiques à l'œuvre, avec très peu de théorie mais beaucoup d'expériences pratiques.

À défaut d'une écologie prédictive, comment limiter les risques d'invasion biologique ?

V.M. Lorsqu'on observe qu'une invasion biologique a des impacts néfastes sur la biodiversité, il est le plus souvent trop tard pour un plan de gestion efficace. Il faut donc en amont faire des hypothèses sur la dangerosité d'une invasion. Cela invite à appliquer une sorte de principe de précaution et à prôner l'éradication dès qu'une invasion est détectée, ce qui pose des problèmes éthiques inextricables. Prenons un exemple que j'ai étudié, celui de l'ibis sacré. C'est un oiseau natif d'Afrique subsaharienne. Un grand nombre d'individus échappés de captivité se sont installés sur les côtes bretonnes, et, depuis peu, sur les côtes méditerranéennes. En 2008, l'État a autorisé l'éradication de cette espèce du fait qu'elle menace la biodiversité, l'ibis s'étant attaqué à certaines espèces de sternes protégées. La logique sous-jacente à cette décision est celle du principe de précaution. Les abattages subséquents, menés par l'Office national de la chasse et de la faune sauvage, ont suscité une polémique, passionnante pour les oppositions qu'elle révèle dans notre rapport à la nature.

Quels étaient les arguments de cette polémique ?

V.M. Schématiquement, les positions s'organisent autour de deux positions tranchées. Les uns considèrent l'ibis comme une population nuisible et souhaitent son éradication. Certains parce qu'il chasse dans les étangs piscicoles, d'autres parce qu'il menace la biodiversité locale ou l'intégrité des écosystèmes. Les autres l'accueillent avec bienveillance, que ce soit parce que c'est un oiseau facile à observer, en vertu de son statut d'oiseau sacré en Égypte ou au nom de ses intérêts en tant qu'individu sensible. À travers la controverse sur l'ibis, on voit se décliner toutes les versions possibles de notre responsabilité vis-à-vis du monde naturel : les intérêts humains sont-ils les seuls à prendre en compte (anthropocentrisme) ? Les êtres sensibles méritent-ils une considération morale directe, et, éventuellement, doit-on leur accorder un droit à la vie (pathocentrisme) ? Ou encore, notre responsabilité doit-elle porter sur des entités supra-individuelles, comme les écosystèmes ou les espèces (écocentrisme) ?

Quel est l'enjeu philosophique du concept d'espèce biologique ?

V.M. Outre qu'il n'est pas du tout stabilisé du point de la vue de la philosophie de la biologie (il en existe une vingtaine de définitions), le concept d'espèce pose un problème ontologique : correspond-il à quelque chose qui existe vraiment ? Ou ce concept n'est-il qu'un moyen de nous représenter le vivant ? Le préciser est crucial pour l'éthique environnementale : si l'on veut protéger les espèces, il serait bien de s'assurer d'abord qu'elles existent ! Cela dit, on ne parle plus guère aujourd'hui de la seule diversité des espèces, mais plutôt de biodiversité.

Qu'est-ce que cela change ?

V.M. D'abord, la biodiversité, c'est la diversité du vivant à tous ses niveaux d'organisation. Elle comprend donc également la variabilité en deçà de l'espèce, au niveau génétique ou comportemental, et au-delà de l'espèce, à l'échelle des communautés, des écosystèmes, voire des paysages. De plus, le concept de biodiversité problématise la diversité du vivant en en faisant un enjeu de protection. Selon moi, ce concept ne sert pas seulement à décrire le vivant, mais il invite à penser sa préservation. Je lui trouve de plus une grande vertu : celle de contribuer à dépasser la dichotomie entre nature et culture qui structure la pensée occidentale au moins depuis l'époque moderne. La notion de biodiversité se réfère en effet à la diversité de tout le vivant, incluant la diversité des modes d'interaction entre humains et non-humains. Par exemple, la diversité des plantes cultivées ou des animaux d'élevage, qui sont de purs produits de l'action humaine, et qui relèvent de la culture au moins autant que de la nature. Elle inclut aussi des écosystèmes qui sont entièrement façonnés par l'homme, comme les salins de Camargue ou les alpages. C'est pour cela que l'on parle de plus en plus de socioécosystèmes : des systèmes résultant de l'interaction entre les êtres humains et le vivant non humain. C'est le cas d'à peu près tous les espaces considérés comme naturels en Europe,

mais la notion est susceptible d'être encore étendue, car l'influence des activités humaines se fait aujourd'hui ressentir sur l'ensemble de la planète, ne serait-ce qu'à travers les changements climatiques d'origine anthropique.

Le concept de biodiversité aide-t-il à comprendre le vivant ? Ou ne sert-il qu'à l'action ?

V.M. Le concept de biodiversité a permis de rendre plus visible l'écologie scientifique et de fédérer une communauté scientifique plus large en rapprochant plusieurs sous-disciplines, comme l'écologie fonctionnelle, la génétique des populations, l'écologie des communautés, la biogéographie, etc. Le concept permet plus de circulation, d'interdisciplinarité, de recherche de cohérence, mais on ne peut pas encore savoir si ces rapprochements seront féconds pour la compréhension du vivant.

On parle de plus en plus de services rendus à l'homme par les écosystèmes. Qu'en pensez-vous ?

V.M. D'abord que c'est une mode, vis-à-vis de laquelle je suis assez perplexe. Quand on parle des fonctions d'un écosystème, on utilise un terme assez neutre. La notion de services écosystémiques, définie comme les bénéfices que tirent les êtres humains du bon fonctionnement des écosystèmes, est quant à elle beaucoup plus problématique. Le préambule de la Convention pour la diversité biologique, signée en 1992 au Sommet de la Terre organisé par l'ONU à Rio de Janeiro, affirmait que les signataires se déclaraient *« conscients de la valeur intrinsèque de la diversité biologiques »*, et des bénéfices que l'homme en tirait. Or cette valorisation désintéressée de la nature pour elle-même tend à disparaître au profit d'une vision très instrumentale de la biodiversité, dont témoigne bien l'importance qu'est en train de prendre l'approche par services écosystémiques, tant dans le champ scientifique qu'au niveau du discours politique ou de la gestion de la nature. Je pense que la protection de la biodiversité ne doit pas être seulement un acte de prudence, visant à ne pas scier la branche sur laquelle l'humanité est assise.

Une fois la nature réduite à un panier de bénéfices, il est logique de tenter de les estimer en termes économiques

Comment expliquez-vous le succès de la notion de services écosystémiques ?

V.M. Il faut la placer dans une perspective historique. Quand on commence à se préoccuper d'environnement, aux États-Unis à la fin du XIX[e] siècle, s'opposent ceux qui veulent protéger la nature sauvage et ceux qui veulent garantir une bonne exploitation de ses ressources. La notion de biodiversité, qui apparaît en 1986 et connaît aussitôt un très grand succès, permet de dépasser cette opposition entre préservation et conservation au profit d'une vision intégrée de la nature et des sociétés humaines. La rhétorique des services écosystémiques est un retour à une approche très gestionnaire, qui considère avant tout la nature comme un pourvoyeur de biens et de services aux sociétés humaines. Son succès vient en partie de ce qu'elle répond étonnamment bien à un agenda politico-économique. Une fois la nature réduite à un panier de bénéfices, il est logique de tenter de les estimer en termes économiques. L'étape suivante, déjà largement amorcée, est une prise en charge de la conservation de la biodiversité par des mécanismes de marchés, certes régulés, comme les banques de compensation* qui tendent déjà à prendre le relais des politiques publiques de protection de la nature.

Pourquoi l'éthique environnementale est-elle moins connue que la bioéthique ?

V.M. Elle est moins connue en Europe, car l'éthique environnementale est d'abord une histoire anglo-saxonne, liée aux nouveaux mondes de l'Australie et de l'Amérique, avec leur nature réputée sauvage. En Europe, on a pensé le rapport à l'environnement dans une articulation à la technique, avec des philosophes comme Gunther Anders, qui a averti sur les dangers de la technologie, Hans Jonas, qui a introduit l'idée de principe de responsabilité, ou Jean-Pierre Dupuy, qui essaye aujourd'hui de penser les catastrophes. Dans le Nouveau Monde, l'environnement a d'emblée été pensé comme un rapport à la nature, ce qui reste le cœur de l'éthique environnementale aujourd'hui. Un autre facteur d'explication est le poids très fort de l'anthropocentrisme : on s'intéresse bien plus à ce qui touche directement à l'homme, d'où l'impact plus important de la bioéthique. Cet intérêt dominant pour l'espèce humaine est particulièrement fort en France, où la discussion sur le statut moral des animaux est presque inexistante, alors qu'elle se développe aux États-Unis ou en Australie, autour par exemple de l'œuvre du philosophe Peter Singer. Ces raisons historiques, propres à l'Europe, et culturelles propres à la France, font que l'éthique environnementale y reste peu connue, même si cette thématique de réflexion parvient lentement à se faire une place chez les philosophes.

■ **Propos recueillis par Nicolas Chevassus-au-Louis**

*** UNE BANQUE DE COMPENSATION** est un système par lequel le maître d'œuvre d'un aménagement détruisant de la biodiversité doit financer une action de préservation de la biodiversité ailleurs.

Pour en savoir plus

> Bernard Chevassus-au-Louis et Laurent Piermont, « Faut-il donner un prix à la biodiversité ? », *La Recherche*, septembre 2010, p. 81.

> Robert Barbault, « Au-delà de la simple conservation de la nature », *Les Dossiers de la Recherche*, août 2007, p. 88.

Déchiffrage

*Moins de 50% d'**enfants blancs** aux États-Unis ?*

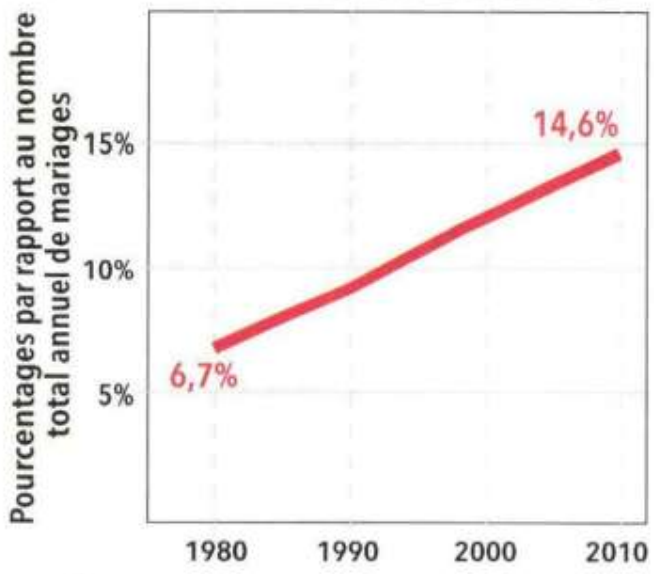
Il existe plusieurs définitions du « Blanc » aux États-Unis. Selon celle que l'on choisit, le nombre de « naissances blanches » varie presque du simple au double.

Par **Hervé Le Bras,** démographe, directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales.

Le bureau du recensement américain a récemment annoncé que 50,6% des naissances aux États-Unis provenaient de mères appartenant à une minorité. Les naissances issues de mères blanches seraient donc devenues minoritaires ? Mais que recouvre cette notion de mère « blanche » ou, dans les termes exacts des statisticiens américains, de mère « *single white non-hispanic* » (uniquement blanche non hispanique) ? Le bureau du recensement s'appuie sur une classification par « race et ethnicité ». La personne doit d'abord préciser son ethnicité, c'est-à-dire si elle est originaire d'Amérique latine (« *hispanic* »), ou non, puis choisir entre quatre races : Blanc, Noir, Asiatique, Indien natif. Ainsi, les Hispaniques comme les non-Hispaniques se répartissent entre les quatre races. Dans leur immense majorité (95%), les Hispaniques choisissent la case « Blanc ». Quand on se limite au seul critère « racial », quelle que soit l'ethnicité – hispanique ou non –, l'ensemble des naissances de mères qui cochent la case « Blanc » représente alors 76% du total en 2010 (26% des mères étant hispaniques et ayant coché la case « Blanc »).

Ce n'est pas si simple. Depuis le recensement de 2000, il est possible de cocher autant de cases qu'on le désire : 2,6% des Américains, soit 8 millions de personnes, ont ainsi choisi au moins deux races, qu'elles soient ou non hispaniques au recensement de 2010. Mais où classer les mères ayant coché deux races ? Les statisticiens ont repris la « *one drop rule* » utilisée pour les métis de Noirs et de Blancs depuis la fin du XIX[e] siècle : un seul ancêtre noir, même très lointain, vous plaçait dans la catégorie des Noirs, même avec des yeux bleus et une chevelure blonde. Dans la version moderne, on a donc classé les cas d'ascendance mixte du type « Blanc-autre race » dans l'autre race, ce qui accroît automatiquement le poids des minorités. Seules les mères non hispaniques qui ont coché seulement la case « Blanc » sont donc comptées comme blanches par le bureau du recensement, d'où le terme « *single* » indiqué au début : une seule case cochée.

MARIAGES MIXTES AUX ÉTATS-UNIS



LE MÉTISSAGE AUGMENTE aux États-Unis. Les mariages mixtes sont passés de 6,7% en 1980 à 14,6% des unions en 2010. En conséquence, les naissances de « Blancs » ont tendance à diminuer.

***Quid* du père ?** Enfin, ces chiffres portent sur la race ou l'ethnicité de la mère, mais *quid* du père dont les bulletins de naissance ne demandent ni la race ni l'ethnicité, ou qui ne sont même pas déclarés ? Implicitement, le bureau du recensement suppose que le père appartient au même groupe que la mère. Pourtant, c'est de moins en moins le cas en raison des unions mixtes : 9% des femmes noires épousent des Blancs hispaniques ou non, 40% des femmes asiatiques font de même. Dès lors, si l'on définit les naissances de « Blancs » comme celles d'enfants dont au moins un parent aurait coché la case « Blanc », leur proportion s'élèverait à environ 81%. Mais inversement, si l'on ne compte que les naissances dont le père et la mère ont coché seulement la case « Blanc », leur proportion tomberait à 45%, car 9% de mères « blanches » environ ont un conjoint d'une autre race ou hispanique ou ayant coché plusieurs cases.

Selon la définition de la naissance « blanche », on navigue donc entre moins d'une naissance « blanche » sur deux et plus de quatre sur cinq. Le métissage augmente aux États-Unis et dans le monde. Il est la meilleure réponse aux classifications raciales et racistes dont il brouille irrémédiablement les frontières. ■

SOURCE : CENSUS BUREAU ET AMERICAN COMMUNITY SURVEYS

Les implants cochléaires, prothèses placées sous le cuir chevelu pour stimuler le nerf auditif et permettre à certains sourds d'entendre, sont au centre d'une controverse. Pour les uns, ils offrent une chance d'accéder au langage oral, pour les autres ils condamnent la langue des signes.

Surdité : pour ou contre les implants

La célébration du tricentenaire de la naissance de l'abbé de L'Épée, qui fut le premier à s'intéresser à la communication par signes des sourds-muets, relance le débat qui oppose les partisans de l'usage de la langue des signes et ceux qui sont plutôt favorables à la communication orale des sourds, et sont donc majoritairement favorables aux implants cochléaires.

La langue des signes fut interdite à l'école pendant un siècle, de 1880 à 1991. Réhabilitée dès les années 1970, elle allait être peu à peu concurrencée par les implants, dont les premiers brevets furent déposés à la même époque. Le principe de cette prothèse : capter le son grâce à un microphone externe et le transformer en une stimulation électrique transmise directement au nerf auditif, grâce à un tout petit appareil placé sous le cuir chevelu. Les résultats de ces implants dépendent encore du type de surdité et de l'âge d'implantation. Dans tous les cas, la personne reste sourde, mais grâce à cette prothèse elle entendra plus ou moins bien (par exemple la qualité est moins bonne si plusieurs personnes parlent en même temps, ou dans un micro). Près de 6 000 personnes en France seraient aujourd'hui implantées.

D'un côté, les médecins comme Natalie Loundon, à l'hôpital Trousseau, proposent aux parents d'enfants sourds un appareillage toujours plus sophistiqué. De l'autre, des personnes issues de la communauté sourde, comme Brigitte Lemaine, redoutent une médicalisation de ce handicap, qui entraînerait une disparition de la langue des signes et d'une certaine culture sourde. ■ **Marina Julienne**

Natalie Loundon, chirurgien ORL, coordonne l'unité de surdité et d'implantation cochléaire pédiatrique à l'hôpital Trousseau, à Paris. Elle a dirigé avec Denise Busquet l'ouvrage collectif *Implant cochléaire pédiatrique et rééducation orthophonique* chez Flammarion médecine-sciences en 2009.

Brigitte Lemaine est sociologue et réalisatrice de documentaires sur l'histoire et la culture des sourds diffusés par le CNRS Images dont *La Mécanique du silence,* DVD-ROM pédagogique pour l'enseignement de la langue des signes française.

Les grandes dates

1880
La langue des signes est interdite dans l'enseignement au profit du langage oral.

1957
Les Français Charles Eyriès, otologiste, et André Djourno, professeur de physique médicale, lancent l'idée de stimuler électriquement l'oreille interne d'un patient.

1977
Premier brevet de la société française Bertin sur un implant cochléaire.

2005
La loi sur le handicap du 11 février reconnaît la langue des signes française (LSF) comme une langue à part entière, et stipule que tout élève concerné doit pouvoir recevoir un enseignement de LSF à l'école.

© PHOTOS DR

Le grand débat

Surdité : pour ou contre les implants

« Le dépistage de la surdité doit être fait

Natalie Loundon

Je suis bien sûr favorable aux implants, puisque dans mon service environ 90 enfants par an bénéficient d'un implant (400 au niveau national). Mais ces prothèses ne sont pas adaptées à tous les cas de surdité. Et surtout elles ne s'opposent aucunement à la langue des signes !

Les implants ont commencé à être proposés à des adultes volontaires dans les années 1970, et depuis la fin des années 1980 les implants pédiatriques peuvent être posés précocement, entre 6 et 12 mois. Différentes études nous ont permis de préciser les indications pour lesquelles ces implants sont ou non efficaces. Par exemple, pour des enfants qui n'ont jamais rien entendu (sourds profonds), l'efficacité de l'implant commence à diminuer dès lors qu'il est posé après l'âge de 2 ans, et il est tout à fait inefficace s'il est posé après 7 ans. En revanche, pour les personnes devenues sourdes après avoir déjà entendu, l'implant peut être bénéfique, même posé à l'âge adulte. Pour les sourds de naissance, seule une implantation précoce offre les meilleures chances de restaurer une partie des fonctions auditives. Pour une raison simple : l'audition ne dépend pas seulement de la performance de notre appareil auditif (nerf auditif, cochlée, etc.).

Récupération. Si les aires cérébrales liées à l'audition n'ont pas été éduquées et stimulées avant l'âge de 2 ans, elles ne sauront pas interpréter les signaux électriques communiqués par l'implant, si performant soit-il !

Nous insistons donc sur l'importance d'un dépistage de la surdité le plus tôt possible, à la maternité. Ce n'est qu'ainsi que les familles auront le temps de mûrir un projet d'implant cochléaire (en cas de surdité profonde), sans faire prendre de retard à l'enfant. En effet, les enfants sourds sont souvent très observateurs, et leur adaptation visuelle à l'environnement peut retarder le diagnostic de la surdité. Actuellement, hors dépistage, les sourds profonds ne sont dépistés en moyenne qu'à l'âge de 15 mois ! Certaines personnes sont hostiles au dépistage précoce, redoutant que cela soit l'occasion pour les médecins de poser

« Les parents doivent avoir le choix entre

Brigitte Lemaine

Je suis contre les implants, pour plusieurs raisons, qu'on ne peut comprendre sans replacer cette question de la médicalisation de la surdité dans une perspective historique.

En France, l'abbé de L'Épée fut le premier, vers 1760, à s'intéresser au mode de communication des sourds par la langue des signes (LSF), et à ouvrir une école pour l'instruction des sourds. Il fut un pionnier et un modèle pour le monde entier.

Mais rapidement la langue des signes a été contestée par les partisans de l'« oralisme », méthode permettant d'enseigner la langue orale aux sourds, qui s'imposera au XIXe siècle. En 1880, à l'issue d'un congrès organisé à Milan par les défenseurs de la méthode orale, l'enseignement de la langue des signes est purement et simplement interdit. Les professeurs sourds sont alors licenciés, car cette langue est considérée comme une pratique régressive, empêchant l'acquisition de la parole. S'ouvre une période tragique : on tape sur les mains des enfants sourds qui communiquent ainsi entre eux, on utilise des méthodes torturantes pour leur apprendre à parler. Mes grands-parents ont vécu cela, et c'est pour cette raison que, bien qu'entendante, je me suis intéressée à cette question.

Ces implants ne sont efficaces que dans 30 % des cas. Que se passe-t-il si l'enfant n'a pas appris la langue des signes ?

Les conséquences du congrès de Milan ont été lourdes : comme la langue des signes n'a plus été employée durant presque un siècle dans les établissements scolaires, le nombre de ses locuteurs a stagné, et son usage s'est trouvé réservé à la sphère familiale ou associative jusque dans les années 1970. Ce n'est qu'en 1991 que la loi Fabius autorise les parents à choisir entre une éducation bilingue ou orale uniquement. Et c'est seulement la loi

dès la maternité »

plus d'implants. Or notre but n'est pas d'augmenter le nombre d'implants, mais de le faire plus tôt, dans les meilleures conditions. Afin d'augmenter les chances pour ces enfants d'entendre et donc de parler.

Quant à l'efficacité de l'implant, il est clair qu'il ne s'agit pas de réparer la fonction auditive, mais de la réhabiliter. Ainsi, des enfants sourds profonds vont pouvoir récupérer une audition moyenne. Et donc, dans un certain nombre de cas, ils pourront suivre une scolarisation en classe ordinaire. Mais nous savons aussi qu'un enfant sur trois ne développera pas un langage de bonne qualité parce que ces enfants ont parfois des pathologies associées qui peuvent rendre difficile l'accès au langage oral.

Pour les sourds de naissance, seule une implantation précoce offre des chances de restaurer en partie des fonctions auditives

D'où notre insistance auprès des parents pour qu'ils développent toute communication quelle qu'elle soit le plus rapidement possible. Nous les incitons à regarder leur enfant, lui parler, le toucher, et utiliser le langage des signes ! Pour prendre un exemple, celui du mot « maison », il faut oraliser le mot « maison », signer le mot « maison », montrer des images de maison, bref leur donner une palette d'outils la plus large possible. Ensuite, certains enfants préféreront signer, d'autres préféreront parler, et ne lèveront même plus la tête de leur dessin pour répondre à une question, si l'implant est vraiment efficace. Nous nous heurtons sur ce point à certaines personnes de la communauté sourde, qui disent « d'abord le signe, ensuite l'oral ». Or physiologiquement, ce n'est pas possible, car chez un sourd profond, l'audition ne peut attendre pour être stimulée, tandis que le visuel est présent et le restera tout au long de la vie.

La vérité n'est pas dans l'une ou dans l'autre des solutions, la conduite est à ajuster en fonction des souhaits des parents et du comportement des enfants, de leur réaction à l'implant. ■

l'implant et la langue des signes »

du 11 février 2005 qui met fin à l'obligation de la méthode orale pour l'éducation des sourds ! Un Capes pour devenir professeur de LSF est finalement créé en 2009.

Information médicale. La bataille pour obtenir une reconnaissance de cette langue fut donc longue et douloureuse. Et c'est dans ce contexte que présenter l'implant comme une solution miracle qui permettrait aux sourds d'entendre remet le feu aux poudres. Car elle vient ruiner les efforts déployés pour qu'ils puissent conserver leur langue alors que ces implants ne sont vraiment efficaces que dans 30 % des cas.

Dans les faits, les parents sourds refusent les implants pour leurs enfants, tandis que les parents entendants réclament ces implants. Les premiers savent que l'on peut vivre correctement en étant sourd, qu'il n'est pas besoin de médicaliser la surdité. Alors que les seconds veulent à tout prix que leur enfant entende. Pourtant, vivre avec un enfant handicapé, n'est-ce pas accepter d'apprendre de la différence plutôt que de vouloir la gommer ? On peut aimer un enfant même s'il n'est pas entendant ! Je compléterai ce point de vue par le fait que ces implants relèvent encore de l'expérimentation. Ils ne sont pas au point. Ils ne permettent en aucun cas de recouvrer l'audition. Les sourds implantés deviennent, dans la majorité des cas, des « malentendants ». Est-ce préférable ? Les parents en sont-ils bien informés ? Que se passe-t-il si leur enfant n'a pas appris la langue des signes ?

Le port d'un implant interdit la pratique de sports où l'on risque une chute sur la tête, comme l'équitation, le judo. Qu'en disent les enfants ? De plus ces implants ne peuvent être enlevés au cas où les résultats seraient décevants. Enfin, les parents ne mesurent pas les conséquences psychologiques d'une telle opération sur les bébés. Finalement, ils reçoivent une information médicale, mais jamais une personne sourde n'est présente à côté du médecin pour leur expliquer avec la même conviction l'intérêt de la langue des signes. Il faudrait, *a minima*, pour que les parents entendants puissent choisir en ayant tous les éléments en main, que cette double information soit donnée. ■

L'invité

Je ne suis pas scientifique mais...

Fabien Pelous, 39 ans,
est un ancien joueur de rugby professionnel. Il détient le record du plus grand nombre de sélections et de capitanats en équipe nationale. Il entraîne actuellement l'équipe de France de rugby des moins de 20 ans, et est consultant pour Canal +.

En 1995, le rugby est devenu un sport professionnel,

et l'expertise scientifique a pris de plus en plus d'ampleur pour améliorer la performance de l'équipe de France. J'ai ainsi participé à quelques expériences surprenantes, par exemple jouer contre un robot mis au point par l'entreprise Thales. Ce robot, plate-forme mobile fixée sur des pieds métalliques, contrôlé à l'aide d'un joystick *par notre entraîneur, simulait une équipe adverse dans une mêlée : nous devions appuyer l'épaule sur une armature, reliée à la plate-forme, équipée de capteurs qui enregistraient nos mouvements, et, à la fin, le robot nous indiquait les postures les moins fatigantes !*

Les débats de science et société m'intéressent, surtout ceux sur les nanotechnologies. Mais je me sens aussi concerné par les découvertes majeures fondamentales, comme celle du boson de Higgs.

L'étude du corps humain me passionne.

Si je n'avais pas été joueur de rugby professionnel, j'aurais été kinésithérapeute. Ce goût pour l'anatomie m'a beaucoup servi : à l'issue de chaque match, je savais exactement quels muscles ou quelles articulations nécessitaient un soin particulier.

J'ai rencontré d'excellents chercheurs au cours de ma carrière. C'est regrettable que nombre d'entre eux partent à l'étranger car ils y sont mieux valorisés.

Depuis mon enfance, la mécanique me fascine.

Mon père, agriculteur, m'avait expliqué un jour comment le phénomène de combustion dans le moteur d'une voiture entraîne le mouvement de ses roues. Et cette passion ne m'a plus quitté. J'ai d'ailleurs réalisé récemment un de mes rêves : passer ma licence de pilote d'hélicoptère. J'ai dû, pour cela, acquérir des connaissances théoriques, des bases en physique, qui m'étaient jusque-là peu familières. Tout comme en météorologie. Car comprendre comment se forme un orage n'est pas sans intérêt pour adopter les bons réflexes en vol !

■ **Propos recueillis par Lise Loumé**

© LAHALLE/PRESSE SPORTS

Les livres

le livre du mois

Qu'est-ce que le vivant ?

Alain Prochiantz

Qu'est-ce que le vivant ? C'est sans aucun doute la question la plus difficile à laquelle un biologiste peut se risquer de répondre. Alain Prochiantz, professeur au Collège de France, relève le défi, par la formulation d'une théorie du vivant et l'insistance sur la réflexion épistémologique qui doit l'accompagner.

L'objectif principal de l'ouvrage est de montrer quelle place particulière *Homo sapiens* occupe dans le vivant. Nous sommes et nous ne sommes pas des animaux : nous sommes par nature « anature ».

Pour saisir cela, le concept d'individuation se révèle central. Il peut être compris comme l'ensemble des transformations particulières auxquelles chacun peut être sujet au cours de sa vie et de leurs traces. Cela doit être rapproché de la conception de la pensée qui, selon Alain Prochiantz, s'applique des bactéries à l'homme comme *« le rapport adaptatif et évolutif qui unit, au niveau de l'espèce comme à celui de l'individu, le vivant à son milieu ». Homo sapiens* se distinguant alors avec son cerveau énorme, par la relation réciproque extrêmement riche et complexe qu'il établit avec son milieu, et la culture peut être définie comme une sécrétion qui persiste par-delà la mort.

Après une critique radicale de toute ambition de comprendre le vivant par une approche strictement mécaniste, Alain Prochiantz s'attache à montrer que, pour toute espèce, doit être considéré le rapport entre « plasticité » et individuation. C'est cette tension qui a porté *Homo sapiens* dans la position particulière qui le rend seul capable dans le monde vivant de se penser comme individu. La biologie peut se donner comme programme d'expliquer cette évolution.

Alain Prochiantz analyse donc les rapports entre l'individu et son « embryogenèse silencieuse ». Cette expression, empruntée à Claude Bernard, désigne le travail invisible et permanent de reconstruction des organismes. Elle trouve, selon le biologiste, une nouvelle justification au travers de la science moderne. Une analyse fine d'apports récents de la biologie permet d'expliquer cette discrète plasticité et ses limites. Elle mobilise des remodelages des connexions neuronales, des modifications de l'organisation du matériel génétique et de la neurogenèse à partir des cellules souches.

Toutes ces pages sont une invitation à l'élaboration d'une culture scientifique, biologique en l'occurrence. Elles permettent de comprendre pourquoi, si nous sommes certes des primates, nous ne sommes pas pour autant des singes.

Cette réflexion sur la position d'*Homo sapiens* montre combien une théorie du vivant est devenue indispensable. La partie plus épistémologique de l'ouvrage affirme la nécessité que les biologistes s'emparent eux-mêmes de son élaboration. Alain Prochiantz s'interroge alors sur les natures de l'objet scientifique et de la preuve, ainsi que sur la forme de cette théorie et son rapport au langage mathématique.

Seuil, coll. « Les Livres du nouveau monde », 2012, 129 p., 19 €.

Sans fin. Outre Claude Bernard, auquel il se réfère comme le penseur des spécificités de l'étude du vivant, Alain Prochiantz marque également son intérêt pour Bergson et sa réflexion sur le vivant et le temps. Au-delà de ces références, il rappelle que le cadre d'une telle théorie actuelle du vivant est marqué par *« le caractère indéterminé des êtres vivants ».* Indéterminé signifie ici que *« le développement, y compris poursuivi chez l'adulte, comme l'évolution sont deux processus historiques sans fin et sans finalité ».*

On sent dans ce texte une possible défiance à l'égard des philosophes qui commentent la science depuis l'extérieur de celle-ci ; les tensions entre Claude Bernard et Auguste Comte semblent fonder ce sentiment chez Alain Prochiantz qui expose sans fard ses propres réflexions, offrant à son lecteur une pensée vive sur un ton parfois incisif. Si cet ouvrage est en effet une discussion, comme le souhaite l'auteur, il appelle des réponses, et gageons que des philosophes des sciences s'en chargeront.

Alain Prochiantz, pour sa part, montre comment la biologie, la culture biologique, habite des questions telles que *« Comment peut-on être certain d'être nous-mêmes ? »* ou *« Qu'est-ce qu'être soi ? »* Questions qui sont au cœur de la plus fondamentale : *« Qu'est-ce que le vivant ? »*

Stéphane Tirard, professeur d'épistémologie et d'histoire des sciences à l'université de Nantes.

Les livres

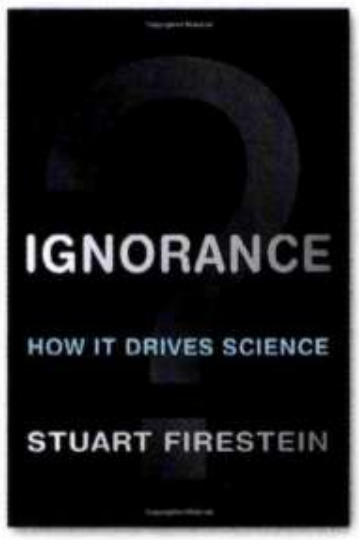
lu d'ailleurs

Ignorance

Stuart Firestein

« *Le progrès est une roue immense, qui élève ceux qui la poussent et qui écrase ceux qui veulent l'arrêter.* » Claude Bernard voyait ainsi, en 1865, la science animée par la force irrésistible du progrès, l'accumulation des connaissances, la collecte des faits et la méthode. Aujourd'hui, c'est l'ignorance que Stuart Firestein, neurobiologiste à l'université Columbia, aux États-Unis, identifie et décrit comme le véritable sel de la science.

C'en est assez, pense-t-il, de la représentation d'une science vue comme une longue poursuite systématique de la connaissance, ayant sa propre méthode et son ensemble de préceptes immuables permettant de concevoir des expériences établissant solidement les faits. « *Quand je m'assois avec des collègues autour d'une bière dans une réunion,* écrit simplement Stuart Firestein, *nous ne revenons pas sur les faits, nous ne discutons pas de ce qui est connu ; nous parlons de ce que nous aimerions comprendre et de ce que nous devrions faire.* »



Oxford University Press, 195 p., 2012.

Le lecteur scientifique sera donc rassuré ! L'« ignorance » qu'affiche de manière un peu provocatrice l'auteur en titre d'ouvrage est donc noble. C'est une « docte ignorance » dont la valeur épistémologique vaut celle de la connaissance, sinon plus, comme le pensait déjà Socrate. De la connaissance l'ignorance n'est ni l'absence ni le refus, mais l'essentiel contrepoint qui se fait questionnement, incertitude ou résultat.

Faire-valoir de l'ignorance, les faits comportent le « *prochain tour de questions, de questions améliorées avec de nouvelles inconnues* ». Ils génèrent positivement du « mystère », du « doute », de l'« incertitude ». « *Il n'y a pas de meilleur moyen pour faire foirer une expérience que d'être sûr de son résultat* », avertit l'auteur. Enfin, un nouveau fait scientifique n'est jamais qu'un résultat qui suscite lui-même un ensemble de problèmes. « *La science a toujours tort,* disait en 1930 George Bernard Shaw. *Elle ne résout jamais un problème sans en créer dix autres.* »

Force immanente. Les scientifiques retrouveront un portrait familier. Peut-être s'inquiéteront-ils toutefois, comme nous dans la première moitié de l'ouvrage, de voir l'ignorance se substituer au progrès comme grande force immanente déterminant les avancées de la science. L'inquiétude est toutefois levée dès lors que Stuart Firestein passe, dans la seconde moitié du livre, du concept d'ignorance aux usages multiples de l'ignorance par les scientifiques.

Car si les formes de l'ignorance sont nombreuses, toutes les ignorances ne se valent pas. « *Les décisions concernant l'ignorance,* écrit-il, *peuvent être les décisions les plus critiques qu'un scientifique doive prendre.* » Pour cela, l'expert ès ignorance a le choix : relier son questionnement à d'autres, revisiter des questions établies, développer les instruments de mesure, recourir à des petites questions pour aborder des sujets fondamentaux, etc.

L'ignorance n'écrase, ni ne pousse. Elle est ce qu'en font les scientifiques dans des directions nombreuses. Lecture conseillée aux apprentis chercheurs tant Stuart Firestein donne envie d'ignorance... et de science.

■ **Julie Bouchard,** **maîtresse de conférences, université Paris-XIII/Labsic.**

à signaler

Biologie

Fabriquer le vivant ?

Miguel Benasayag et Pierre-Henry Gouyon

La Découverte, 2012, 168 p., 15 €.

Sous la forme d'un dialogue entre un philosophe et un biologiste, cet ouvrage s'emploie à tisser un lien entre les avancées en sciences de la vie et la société actuelle. Peut-on concevoir le fonctionnement du corps humain comme l'interaction de ses différentes parties ? Est-il possible de comprendre la société uniquement comme une association d'individus ? Ce livre, philosophiquement très pointu, pose le débat.

Astrophysique

Variations sur un même ciel

Jean-Philippe Uzan (dir.)

La ville brûle, coll. « Infinie », 2012, 352 p, 37 €.

Plus d'une vingtaine de phy-

siciens, d'astrophysiciens, d'historiens et de philosophes – parmi lesquels des contributeurs réguliers de *La Recherche* – ont sélectionné un texte qui parle de la création de l'Univers avant d'en donner une lecture personnelle. Edgar Poe, Raymond Queneau côtoient Albert Einstein, Platon, Aristote, Buffon ou encore Hésiode pour n'en citer que quelques-uns. Avec autant d'éclairages à découvrir. Chacun peut y trouver son ciel.

Santé

Les Nouveaux Paradoxes de la médecine

Luc Perino

Le Pommier, 2012, 240 p., 20 €.

Les sciences biomédicales s'appliquent au détriment du soin individualisé. Pour l'auteur, praticien et défenseur de la médecine clinique, le coupable est le marché, qui a pris possession de la recherche, de la pratique et de l'enseignement médicaux. Luc Perino dresse la liste des paradoxes de la médecine actuelle, et dénonce les statistiques, qui uniformisent les soins et empêchent les médecins de pratiquer selon une conception personnelle du métier.

Technologie

Nucléaire, pour quoi faire ?

Jean-Baptiste de Panafieu et Julien Revenu

Gulf Stream éditeur, 2012, 240 p., 12,50 €.

Qu'est-ce que la fission ? Comment démantèle-t-on une centrale nucléaire ? Qu'est-ce qu'un réacteur nucléaire de quatrième génération ? Dans cet ouvrage grand public, les auteurs répondent à ces questions sur le nucléaire, et à bien d'autres encore (sur son utilité, les débats qu'il suscite, etc.). S'ils assument leur parti pris antinucléaire, ils s'efforcent de faire une présentation objective des arguments de chaque camp. Le tout dans un style clair et rythmé (chaque chapitre fait trois ou quatre pages), et avec des illustrations pleines d'humour.

TOUCHE PAS À MA SCIENCE

Impasse africaine

Les éditions L'Harmattan viennent de faire paraître *La Science, symptôme de l'Occident*, de Lawrence Thiebert, dans la collection «Pensée africaine». Si, comme c'est l'intention de celle-ci, ce livre devait participer *«à la quête et à la création du sens pour fonder de nouveaux espaces institutionnels de vie africaine»*, alors on aurait bien raison de dire, comme Nicolas Sarkozy en 2007 à Dakar, que *«l'homme africain n'est pas assez entré dans l'histoire»*. Dans l'histoire des sciences tout au moins. Des exemples ? À la page 59 de cet ouvrage sous-titré *Le «comment» des impasses de la recherche scientifique occidentale*, on découvre avec stupeur que *«ces deux paramètres que sont la température et la pression atmosphérique sont suffisants pour unir les quarks sous forme de protons et de neutrons»*. Ou, page 74, l'auteur propose des homologies assez hardies *«dans le but de traduire les différentes lois de la nature : l'autisme et le boson de Higgs ; l'hystérie et l'électromagnétisme ; la schizophrénie mystique et la radioactivité ; le chamanisme/prophétisme et la relativité générale»*. Heureusement pour l'avenir de l'Afrique et de la science, il existe d'authentiques scientifiques africains, qui contribuent aux avancées de la connaissance. Si les intentions du directeur de collection, François Manga-Akoa, sont sincères, pourquoi ne fait-il pas appel à eux ? ■ Luc Allemand

Lawrence Thiebert, *La Science, symptôme de l'Occident*, L'Harmattan, 2012, 116 p., 13 €..

Prospective

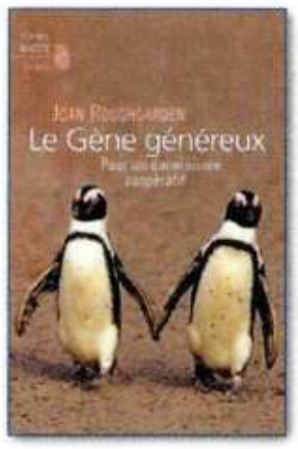
Bref récit du futur

Pierre Papon

Albin Michel, 2012, 356 p., 22,50 €.

Théorie du Big Bang, structure de l'ADN, avènement d'Internet... Les avancées scientifiques du XX[e] siècle ont modifié notre relation au temps et à l'espace. L'auteur, qui a dirigé le CNRS et l'Ifremer, imagine à la lumière de ces avancées la science et les technologies de 2050. Selon lui, les questions actuelles en physique, en biologie et en informatique bouleverseront notre quotidien, qu'il décrit dans un ouvrage accessible à tous.

Évolution



Le Gène généreux

Joan Roughgarden

Seuil, coll. «Science ouverte, 2012, 320 p., 24 €.

La principale théorie de l'évolution des espèces, qui repose sur la sélection naturelle, ne fait pas toujours l'unanimité. Ainsi, Joan Roughgarden, spécialiste de l'écologie comportementale à l'université Stanford, réfute le modèle darwinien de la «sélection sexuelle» fondé sur des particularités anatomiques voyantes des mâles. Favorable à la sélection sociale, l'auteure analyse la sexualité des animaux, et met en avant le groupe et la coopération entre partenaires plutôt que l'individualité. Non sans arguments, elle montre que, dans la nature, tout n'est pas que conflit, égoïsme et profit. Il existe en effet des espèces où les rôles sont inversés.

Les livres

SPÉCIAL BEAUX LIVRES

Tara Océans

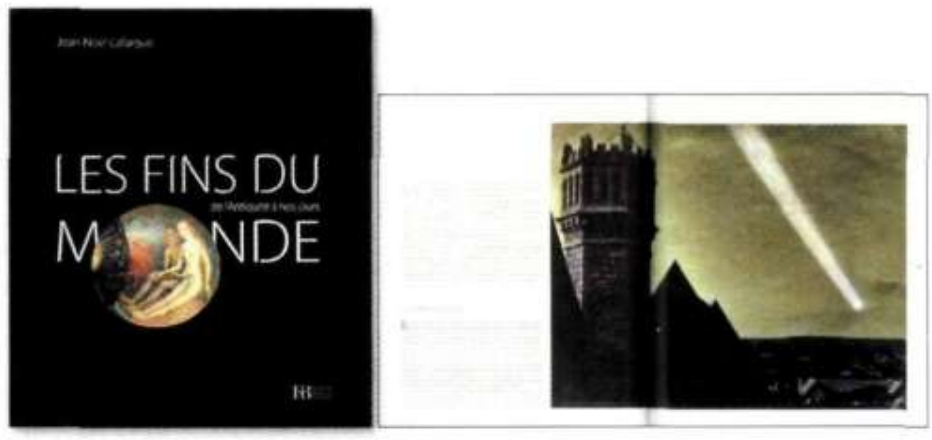
Dino Di Meo et Éric Karsenti, Actes Sud/Tara Expéditions, 2012, 256 p., 29 €.

Entre récit de voyage et journal de bord scientifique, ce livre raconte l'expédition de trois ans menée à bord de la goélette *Tara*, dédiée à l'étude des micro-organismes marins. Riche en images de science, en clichés de paysages et en photographies immortalisant le quotidien de l'équipage, l'ouvrage a été rédigé par le journaliste Dino Di Meo et le biologiste Éric Karsenti, codirecteur de l'expédition. À chaque début de chapitre, une carte permet de suivre la progression de cette aventure humaine et scientifique.

Les Fins du monde

Jean-Noël Lafargue, François Bourin éditeur, 2012, 311 p., 45 €.

***Quoi de mieux que l'apocalypse pour faire le portrait d'une société ?* Ses causes potentielles reflètent de façon fine les courants de pensée d'une époque. Cette fin du monde, Jean-Noël Lafargue l'aborde dans toutes ses dimensions : artistique, bien sûr, lui qui est professeur en école d'art, mais aussi scientifique, religieuse et philosophique. Le propos est éclairé par une iconographie foisonnante, avec un très beau rendu des couleurs et des détails, et qui embrasse tous les courants stylistiques, toutes les techniques : peinture, affiches, photos.**



Graines & fruits

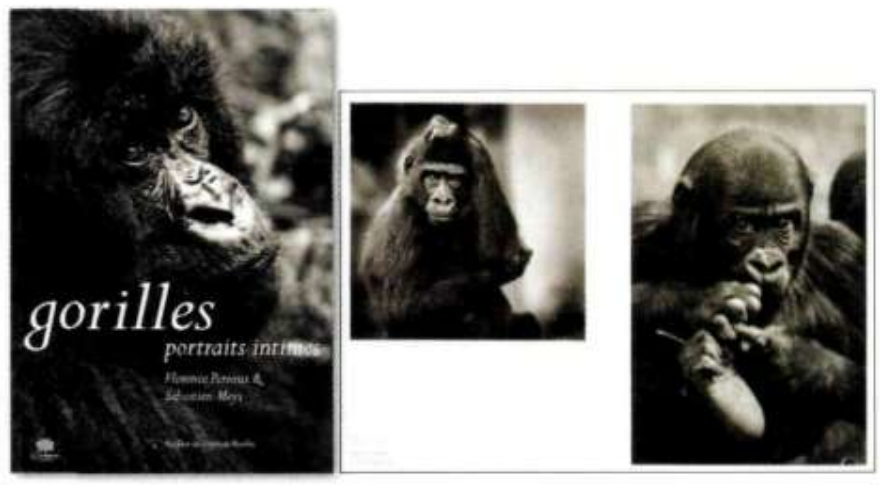
Emmanuelle Grundmann et Muriel Hazan, éditions Rouergue, 2012, 252 p., 35 €.

Emmanuelle Grundmann, journaliste scientifique, et Muriel Hazan, photographe et biologiste de formation, ne se contentent pas de décrire les graines de manière encyclopédique : elles en dressent des portraits vivants, en prose ou en vers. Elles précisent également les liens étroits entre ces graines et les hommes en retraçant l'histoire du riz, du commerce des épices, de la fabrication des médicaments, de la création d'ornements, ou encore de l'art culinaire.

Gorilles, portraits intimes

Florence Perroux et Sébastien Meys, Le Pommier, 2012, 144 p., 29 €.

Les gorilles ne sont pas des brutes agressives et dangereuses. Le photographe animalier Sébastien Meys et Florence Perroux, responsable « conservation et pédagogie » au zoo de la Palmyre, tordent le cou à cette idée reçue. Au fil des pages, le photographe propose une sélection de portraits en noir et blanc de nos cousins, dont le comportement et le regard troublent tant ils semblent humains. Une impression vite nuancée par un texte précis rappelant les mœurs de ces grands singes à différents stades de leur développement.



Les Trois Codex Mayas

Éric Taladoire, Balland, 2012, 240 p., 42 €.

Plus de 200 pages de photographies des manuscrits mayas sont regroupés dans ce livre d'art. Les trois seuls codex mayas restant à ce jour, inconnus du grand public car trop fragiles pour être exposés, sont présentés par l'archéologue Éric Taladoire. Après avoir introduit la civilisation maya, l'auteur explique à quoi servaient les codex et quelle est leur histoire. Du spécialiste avide de découvrir les codex mayas au profane curieux de cette civilisation ancienne, chacun trouvera son compte dans ce livre.

Instituts thématiques

Inserm

Institut national de la santé et de la recherche médicale

ATELIER DE FORMATION 221

Organisateurs / Organizers: **Jean-Paul Concordet** *(Institut Cochin, Paris)*, **Carine Giovannangeli** *(Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris)*

Modifications ciblées du génome à l'aide de protéines TALEs

● **Phase I** ▶ Le point sur…
24-26 Avril 2013 - **Bordeaux**

Objectifs

Grâce aux nouveaux domaines de fixation à l'ADN artificiels, de type peptides à doigts de zinc ou effecteur TAL, il semble désormais possible de couper ou modifier une séquence prédéterminée du génome à volonté. En particulier, la possibilité de créer des cellules ou organismes génétiquement modifiés de façon contrôlée ouvre de très nombreuses perspectives.

Pour n'en citer que quelques-unes :

- inactivation de gènes pour étudier leur importance biologique dans des organismes modèles ou des cellules en culture
- modification de gènes endogènes par insertion de séquences codantes (GFP, TAP-tag, …) pour étudier leurs fonctions
- création de modèles cellulaires ou animaux de maladies
- création de plantes génétiquement modifiées de façon contrôlée
- corriger des mutations responsables de maladies…

Enfin, les approches abordées pendant l'atelier ouvrent également la voie à de nouvelles possibilités de modifications enzymatiques ciblées du génome qui seront cruciales pour l'étude de la régulation et la structure du génome.
L'objectif de l'atelier est donc de faire le point sur ces méthodes de modification contrôlée du génome en plein essor.

Public

Chercheurs, techniciens, ingénieurs, post- doctorants et doctorants du milieu académique et des secteurs pharmaceutiques et biotechnologiques privés. Toute personne qui souhaite découvrir les nouvelles possibilités ouvertes par l'utilisation des protéines artificielles dirigées à façon, de type TALE.
Les conférences seront données en anglais.

Programme

1. Des effecteurs TAL de *Xanthomonas* à l'ingéniérie du génome avec des TALE nucléases.
2.Protéines de fusion TALE nucléases et autres (design et applications).
3.Manipulation du génome avec des TALE nucléases (organismes modèles).
4.Manipulation du génome avec des TALE nucléases et autres fusions TALE (lignées cellulaires, cellules souches).

● **Phase II** ▶ **Maîtrise technique**
Juin ou Juillet 2013 - **Paris**

Programme

L'atelier pratique sera réalisé à l'U565, Muséum National d'Histoire Naturelle. Il permettra d'aborder la conception d'une expérience de modification de gène à l'aide de TALEN et de mettre en œuvre les techniques pour leur construction et leurs utilisations (détection de mutations, modification de gène) dans des cellules en culture. Si possible, les stagiaires travailleront sur leur gène d'intérêt; ils feront le design de leur TALEN et auront donc tout le matériel pour les valider dans leur système.

Sélection

6 participants seront sélectionnés parmi les participants de la phase I.

Avec la participation de / with the participation of: Ignacio ANEGON **(Nantes, France),** Ulla BONAS **(Halle, Germany),** Dana CARROLL **(Salt Lake City, USA),** Toni CATHOMEN **(Freiburg, Germany),** Philippe DUCHATEAU **(Paris, France),** Zoltan IVICS **(Langen, Germany),** Maria JASIN **(New-York, USA),** Keith JOUNG **(Charlestown, USA),** Bernard LOPEZ **(Villejuif, France),** Jacques POUYSSEGUR **(Nice, France),** Barry STODDARD **(Seattle, USA),** Fyodor URNOV **(Richmond/Berkeley, USA),** Bo ZHANG **(Beijing, China)**

Genome engineering and targeting with artificial TALEs

● **Phase I** ▶ Critical assessment…
April 24-26, 2013 - **Bordeaux**

Aims

Custom-made sequence-specific proteins composed of artificial DNA binding domains, such as zinc-finger motifs or TAL effector repeats, are able to recognize unique sequences in the genome. A wide variety of DNA sequence changes can thus be introduced with artificial sequence-specific nucleases and high efficiencies can be obtained, raising tremendous perspectives in all fields of life sciences.

To men tion but a few:

- inactivate genes to study their biological role in cultured cells and model organisms
- modify genes by in-frame insertion of coding sequences for luciferase, GFP, TAP-tags, … to facilitate studies of gene function
- create cellular or animal models of human disease
- correct mutations involved in disease
- introduce highly controlled genetic modifications in plants…

The aim of the conference is to cover recent developments in the field of targeted genome modification using custom-designed TALE DNA binding proteins.

Audience

Researchers, post-docs and PhD students, biotech engineers. Any scientist wanting to discover a novel approach for sequence-specific manipulation of the genome or who plans to develop a project using this approach.
Lectures will be given in English.

Program

1. From *Xanthomonas* TAL effectors to genome engineering with TALE Nucleases.
2. TALEN and other TALE-fusion proteins - Design and applications.
3. Genome manipulation with TALE nucleases (model organisms).
4. Genome manipulation with TALE nucleases and other TALE-fusion proteins (stem cells, cultured cells).

● **Phase II** ▶ **Technical workshop** (3 days)
June or July 2013 - **Paris**

Program

The technical workshop will allow a hands-on approach of the major steps in using TALENs for controlled genome modification in cultured cells (TALEN design and construction, mutation detection, gene modification). Participants will work on their gene of interest, design their TALEN and (if applicable) test it in cell culture. It will take place at Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Selection

6 participants will be selected among participants to phase I.

DATE LIMITE D'INSCRIPTION **REGISTRATION DEADLINE**

11 février 2013 **february 11th 2013**

Renseignements et inscriptions **Information and registration**
Inserm Ateliers de formation 101 rue de Tolbiac 75654 Paris Cedex 13
Tel. +33 (0) 1 44 23 62 04 or 62 03 - Fax +33 (0) 1 44 23 62 93
ateliers@inserm.fr

Histoire de science

Il y a deux cents ans, l'acte fondateur de la paléontologie était publié en quatre volumes. Son auteur, Georges Cuvier, y déclenchait aussi un conflit avec son collègue du Muséum d'histoire naturelle Jean-Baptiste Lamarck. Les deux naturalistes s'opposèrent jusqu'à la mort du second, en 1829.

La naissance houleuse de la paléontologie

Éric Sartori,
ingénieur de l'École supérieure de physique et de chimie, travaille dans la recherche pharmaceutique. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages d'histoire des sciences.

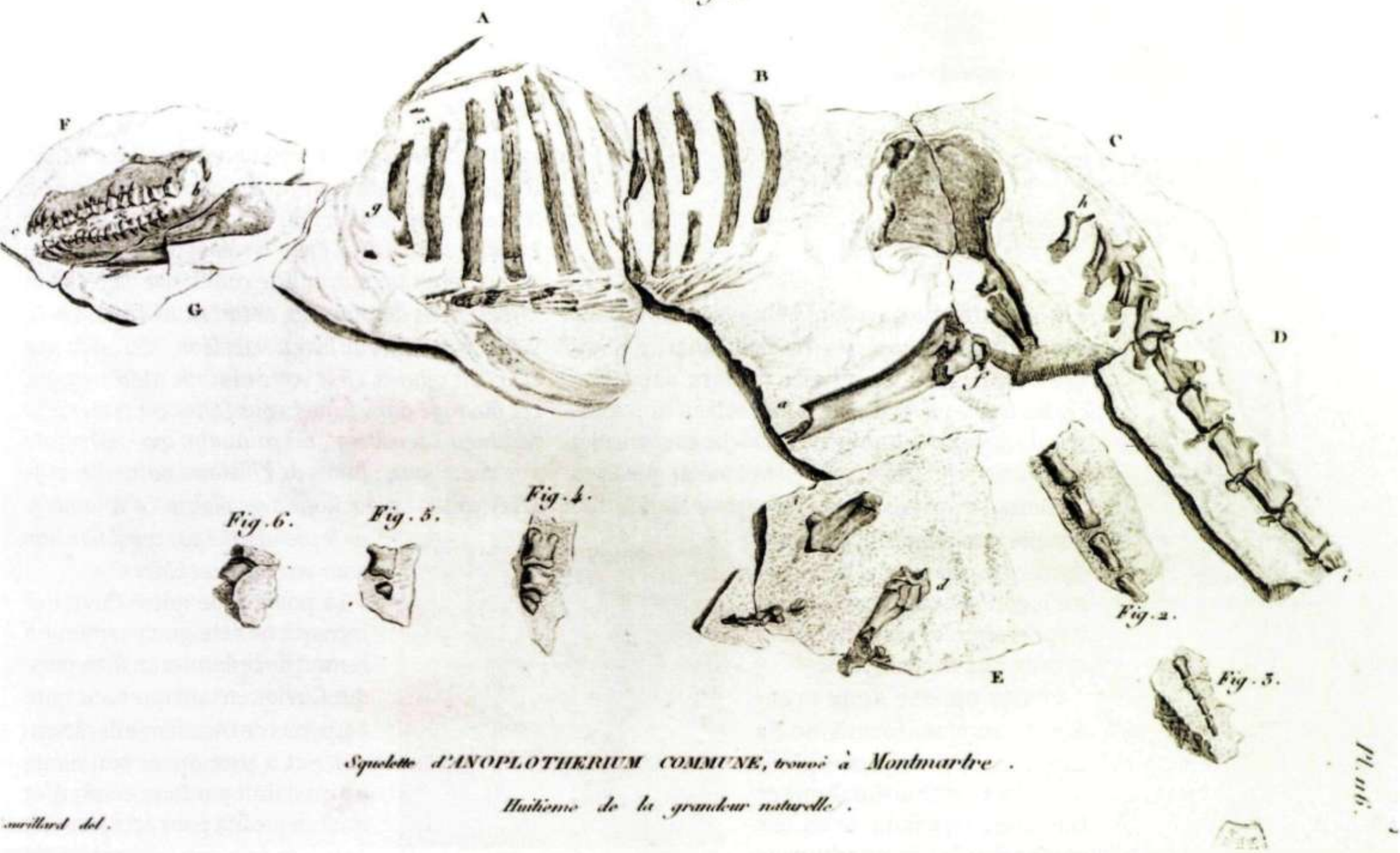
Il y a deux cents ans, en 1812, paraissait, sous la signature de Georges Cuvier, un ouvrage que l'on peut considérer comme l'acte de naissance de la paléontologie : *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes*. Ce fut aussi le début d'une longue et vive polémique qui opposa deux remarquables savants aux tempéraments, méthodes et idées bien différents, Georges Cuvier et Jean-Baptiste de Lamarck.

Les *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes* comprennent quatre volumes et reprennent les mémoires que Cuvier a publiés depuis 1804 dans les *Annales du Muséum national d'histoire naturelle*, où il tient la chaire d'anatomie comparée. L'ouvrage s'ouvre par un *Discours préliminaire*, chef-d'œuvre de la littérature scientifique : « *J'essaie de parcourir une route où l'on n'a encore hasardé que quelques pas, et de faire connaître un genre de monuments presque toujours négligé, quoique indispensable pour l'histoire du globe. Antiquaire d'une espèce nouvelle, il m'a fallu apprendre à déchiffrer et à restaurer ces monuments, à reconnaître et à rapprocher dans leur ordre primitif les fragments épars et mutilés dont ils se composent ; à reconstruire les êtres antiques auxquels ces fragments appartenaient ; à les reproduire avec leurs proportions et leurs caractères ; à les comparer enfin à ceux qui vivent aujourd'hui à la surface du globe : art presque inconnu, et qui supposait une science à peine effleurée auparavant…* »

Georges Cuvier (1769-1832) développa la paléontologie dans une perspective fixiste : les espèces ne changeaient pas. © ROGER VIOLLET

Cuvier ressuscite un immense et sensationnel bestiaire ; il décrit plus de cent cinquante mammifères ou quadrupèdes ovipares, dont 90 % étaient totalement inconnus tels les *monitors* (lézards fossiles) de Thuringe, les ichtyosaures (lézards à nageoires), les plésiosaures, le gavial (crocodile fossile) de Normandie, le mégalosaure, aussi énorme qu'une baleine, les ptérodactyles (lézards volants de la taille d'une chauve-souris), puis encore d'innombrables tortues, crocodiles, lamantins, dauphins, morses fossiles. L'apport principal de Cuvier consiste en une méthode, l'anatomie comparée et la corrélation des organes, et en deux théories, fixisme des espèces et catastrophisme.

Reconstruction. Voici comment Cuvier lui-même explique sa méthode : « *Si les intestins d'un animal sont organisés de manière à ne digérer que de la chair et de la chair récente, il faut aussi que ses mâchoires soient construites pour dévorer une proie ; ses griffes pour la saisir et la déchirer ; ses dents pour en découper et en diviser la chair ; le système entier de ses organes du mouvement pour la poursuivre et pour l'atteindre ; ses organes des sens pour l'apercevoir de loin.* […] *Nous voyons bien, par exemple, que les animaux à sabots doivent tous être herbivores, puisqu'ils n'ont aucun moyen de saisir une proie ; nous voyons bien encore que, n'ayant d'autre usage à faire de leurs pieds de devant que de soutenir leur corps, ils n'ont pas besoin d'une épaule aussi vigoureusement organisée : d'où résulte l'absence de clavicule*



Cette reconstitution d'un anoplothérium, mammifère fossile mis au jour à Montmartre, illustre la méthode paléontologique exposée par Cuvier dans ses *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes*, publiées en 1812.

*et d'acromion**, *l'étroitesse de l'omoplate.* » Pour résumer : « *À la vue d'un os, d'un seul morceau d'os, je reconnais et reconstruis la partie de l'ensemble dont il provient.* »

La reconstitution des fossiles, leurs dispositions et successions dans les couches géologiques conduisent Cuvier à proposer une histoire de la Terre et du monde vivant : les espèces ne changent pas, les espèces fossiles ont disparu et n'ont pas de successeurs actuels. L'histoire de la Terre se compose d'une série de catastrophes (dont la dernière fut le Déluge biblique), qui ont entraîné la disparition des grandes espèces et de nouvelles créations.

Le *Discours préliminaire* constitue aussi une machine de guerre contre l'un des collègues de Cuvier au Muséum, le chevalier Jean-Baptiste de Lamarck. Militaire dans sa jeunesse, son amitié avec Jean-Jacques Rousseau avait décidé de sa vocation pour les sciences naturelles. Il avait étudié en particulier les mollusques et avait été l'un des artisans sous la Révolution de la transformation du Jardin du roi en Muséum national d'histoire naturelle. On lui doit, en 1815, l'invention du mot biologie : « *Tout ce qui est généralement commun aux végétaux et aux animaux, comme toutes les facultés qui sont propres à chacun de ces êtres sans exception, doit constituer l'unique et vaste objet d'une science particulière qui n'est pas encore fondée, qui n'a même pas de nom, et à laquelle je donnerai le nom de biologie* [1]. »

Lamarck favorise, au début, la carrière de Cuvier, de vingt-cinq ans son cadet. Mais ils ne tardent pas à s'opposer frontalement, tant les idées de Cuvier contredisent les théories élaborées par Lamarck dans sa *Philosophie zoologique*, publiée en 1809. Lamarck défend le transformisme, et au fond, nie la notion d'espèce, qui ne serait que le produit de l'imagination des naturalistes, ce qui est incompatible avec le fixisme de Cuvier. Lamarck défend aussi l'idée d'une évolution, d'une complexification croissante, qui, partant de la création spontanée des formes de vie les plus primitives, parvient, au cours du temps à créer toute la diversité animale que nous connaissons par les mécanismes de l'usage des organes (un organe utilisé constamment se développe, un organe peu utilisé s'atrophie) et de l'hérédité des caractères acquis. C'est l'exemple célèbre de la girafe, qui, forcée par les changements de végétation à brouter des feuilles de plus en plus hautes, voit son cou s'allonger progressivement de génération en génération.

Espèces conservées. Quant aux espèces fossiles, que Cuvier était si fier d'avoir reconstituées, Lamarck nie qu'elles aient disparu et considère qu'elles ont des descendants actuels. Les plus spectaculaires, les mastodontes, megalonix, >>>

* **L'ACROMION** est une extrémité osseuse de forme triangulaire et aplatie prolongeant l'omoplate.

[1] J.-B. Lamarck, *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*, Déterville, 1815.

© MINTIN/AKG-IMAGES

Histoire de science

La naissance houleuse de la paléontologie

>>> *Megatherium* existent peut-être encore dans des territoires inexplorés ; ou alors, un petit nombre d'entre elles a peut-être disparu parce que l'homme n'a pu les domestiquer et les a trop chassées. Lamarck, comme Cuvier, cherche à se concilier la puissance ecclésiastique ; il fait valoir que Dieu ne saurait avoir créé des espèces pour les détruire ensuite lors d'improbables cataclysmes, tandis que Cuvier insiste sur la compatibilité de ses catastrophes avec les récits bibliques et ceux d'autres religions.

Cuvier oppose deux arguments au transformisme de Lamarck : d'abord, les espèces ne sont que marginalement transformées par les conditions géographiques et par le temps ; ainsi, note-t-il, il existe peu de différences entre le renard de Sibérie et celui du désert, ou entre les momies d'animaux rapportées par l'expédition d'Égypte et les animaux actuels (bien entendu, ni Lamarck ni Cuvier n'avaient une idée même approximative de l'âge de la Terre ; Buffon, qui faisait encore autorité, admettait avec réticence près d'un million d'années). L'autre argument, promis à un bel avenir, est celui du chaînon manquant : « *Entre le paléothérium et les espèces d'aujourd'hui, l'on devrait découvrir quelques formes intermédiaires, et, jusqu'à présent, cela n'est point arrivé... Pourquoi les entrailles de la terre n'ont-elles pas conservé les monuments d'une géologie si curieuse ?* »

Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) défendit une théorie de l'évolution des espèces.

Prévisions météorologiques. D'un point de vue institutionnel, Cuvier l'emporte nettement et connaît une carrière météorique. L'Empire le fait chevalier et le nomme au Conseil d'État, la Restauration, baron, et chancelier de l'Université, la monarchie orléaniste ajoute le titre de pair de France. Lamarck, au contraire, connaît des humiliations publiques. Il les doit en partie à son intérêt pour la météorologie. On lui doit en effet la classification et les noms actuels des nuages – nimbus, cumulus, etc. Mais il s'efforça durant plus de dix ans de publier des calendriers de prévisions météorologiques régulièrement démentis par les faits. Cela lui valut l'ironie du monde académique, et aussi du pouvoir. En témoigne ce récit par Arago d'une présentation des membres de l'Institut à Napoléon en 1809 : « *L'Empereur* [...] *passa à un autre membre de l'Institut. Celui-ci n'était pas un nouveau venu : c'était un naturaliste connu par de belles et importantes découvertes, c'était M. de Lamarck. Le vieillard présente un livre à Napoléon : "Qu'est-ce que cela ? dit celui-ci. C'est votre absurde Météorologie, cet ouvrage dans lequel vous faites concurrence à Mathieu Laensberg**, *cet annuaire qui déshonore vos vieux jours ; faites de l'histoire naturelle, et je recevrai vos productions avec plaisir. Ce volume, je ne le prends que par considération pour vos cheveux blancs."* »

La polémique entre Cuvier et Lamarck ne s'éteignit pas même à la mort de ce dernier en 1829, puisque Cuvier, en tant que secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, eut à prononcer son éloge (ce qu'il finit par faire en 1832), et qu'il en profita pour accabler une dernière fois son adversaire, de manière si violente que l'Académie indignée refusa l'impression du discours original. Quelques passages de la version publiée donnent une idée du ton : « *Nous ne pouvons guère juger de ce qu'un long temps produirait qu'en multipliant par la pensée ce que produit un temps moindre, c'est-à-dire rien. Le temps sans bornes qui joue un si grand rôle dans la religion des mages n'en joue un pas moins grand dans toute cette physique de M. de Lamarck.* [...] *Par une hypothèse de plus ajoutée à toutes les autres* [...], *ce sont les habitudes, la manière de vivre qui, avec le temps, font naître les organes.* [...] *On comprend que, ces principes une fois admis, il ne faut plus que du temps ou des circonstances pour que la monade ou le polype finissent par se transformer, graduellement et indifféremment en cigogne, en grenouille, en éléphant.* »

Le style scientifique de Cuvier, qui insistait sur l'accumulation patiente, longue, organisée de faits et reposait sur une argumentation serrée, s'opposait aussi à celui de Lamarck, plus intuitif, plus enclin à exposer des théories hardies parfois peu étayées. Le premier fut mieux accepté par la communauté scientifique que le second. Nous savons aujourd'hui que tous deux possédaient une partie de la vérité et que tous deux se trompaient partiellement ; oui, il a bien existé des disparitions massives d'espèces entraînées par des cataclysmes naturels, et, oui, aussi, les espèces ont évolué, même si ce ne fut pas grâce à l'hérédité des caractères acquis. ■

* **MATHIEU LAENSBERG** était un astrologue belge du XVIII[e] siècle, auteur d'un almanach extraordinairement populaire.

Pour en savoir plus

> Georges Cuvier, *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes*, Garnier-Flammarion, 1993.

> Georges Cuvier, *Éloges historiques*, E. Ducrocq, 1867.

> Goulven Laurent, *Paléontologie et évolution en France, 1800-1860*, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1987.

> Jean-Baptiste Lamarck, *Philosophie zoologique*, Garnier-Flammarion, 1999.

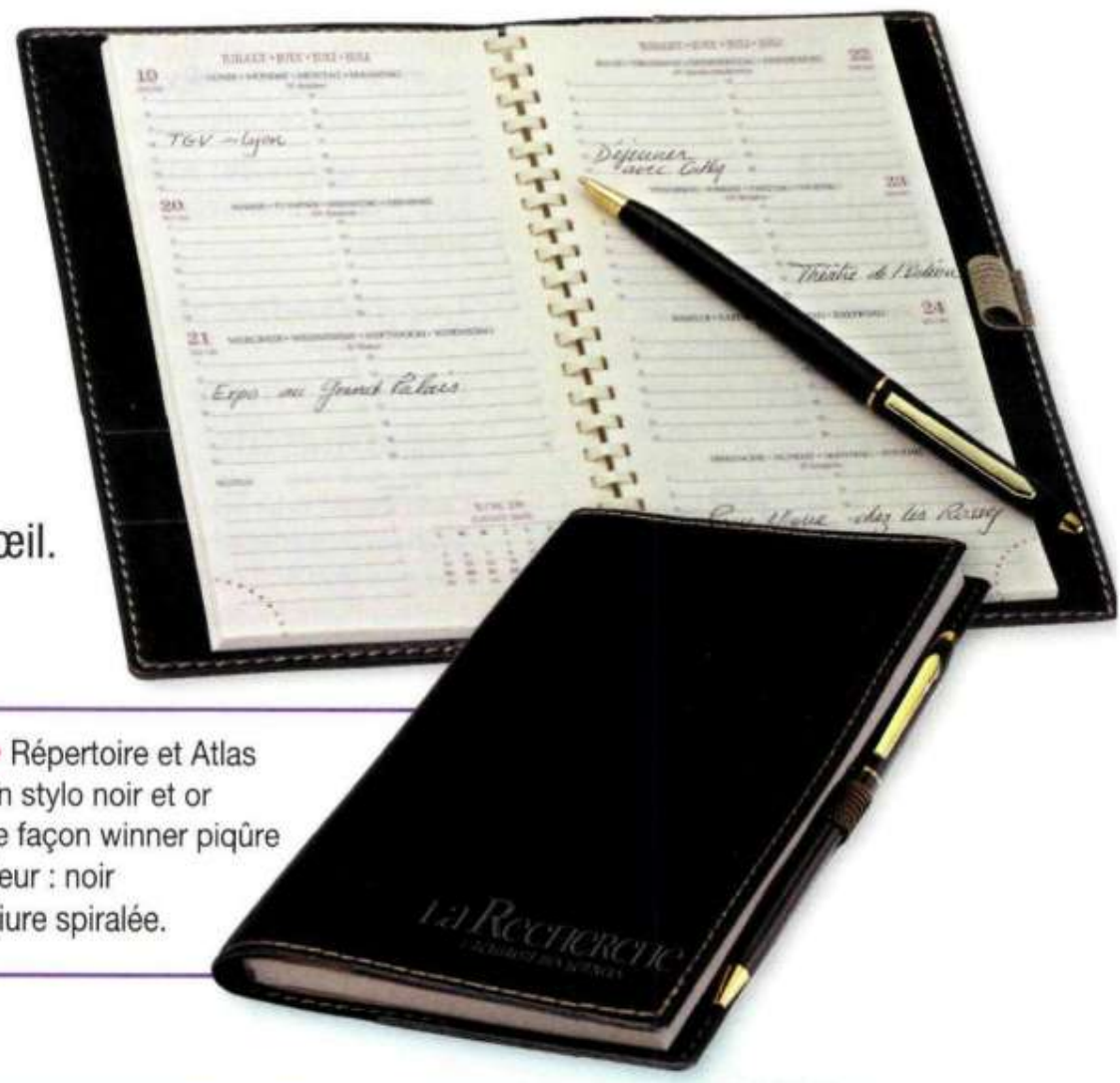
> Éric Sartori, *Histoire des grands scientifiques français*, Tempus, 2012.

© COLLECTION NR/KHARRINE-TAPABOR

ABONNEZ-VOUS À La Recherche
L'actualité des sciences

Et recevez en cadeau l'agenda 2013 Exacompta

Sobre et élégant, cet agenda de poche réalisé spécialement pour vous, vous accompagnera au quotidien.
Un format pratique, avec une semaine sur 2 pages afin de visualiser votre planning d'un seul coup d'œil.



- Semaine sur 2 pages • Répertoire et Atlas en couleur amovible • Un stylo noir et or
- Couverture synthétique façon winner piqûre sellier ton sur ton • Couleur : noir
- Format 8,5 x 16 cm reliure spiralée.

oisissez le 4 x sans frais

15€50

Simple ! Pratique ! ans contraintes !

1 an : 62€ au lieu de ~~90,90€~~

soit plus de 30% de réduction !

BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner sous enveloppe affranchie à La Recherche - Service Abonnements - 17, route des Boulangers - 78926 Yvelines cedex 9

C470

ll, je souhaite m'abonner à La Recherche recevoir en cadeau l'agenda 2013 Exacompta son stylo signé La Recherche.

1 AN - 12 NUMÉROS (dont 2 numéros spéciaux) au prix de **62€** au lieu de ~~90,90€~~.

suis étudiant* ou enseignant* : je ne paie que **56€**.

Je profite du paiement en **4 fois sans frais** et je règle dès maintenant **15€50** par chèque ou CB, le quart du montant de mon abonnement.

is je recevrai par courrier l'autorisation de prélèvement qui me permettra régler les trois autres versements par prélèvement automatique trimestriel.

suis étudiant* ou enseignant* : je ne paie que **14€**.

J'indique ci-dessous mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code Postal : |_|_|_|_|_|

Ville : _____

Téléphone : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Si vous souhaitez recevoir des offres de notre part, merci de nous indiquer votre e-mail :

_____ @ _____

Je règle à l'ordre de La Recherche par :

☐ Par chèque ☐ Par carte bancaire

Numéro CB : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Notez aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de votre carte bancaire, au niveau de la signature : |_|_|_|

Expire fin : |_|_| |_|_|

Signature obligatoire

Recherche
lité des sciences

ia Publications - SA au capital de 115 500 € - 562 029 223 RCS Paris
ce abonnements : ✆ France : 01 55 56 71 15 - ✆ Etranger : 00 33 155 56 71 15
il : abo.recherche@groupe-gli.com

réservée aux nouveaux abonnés valable jusqu'au 31/03/2013 dans la limite des stocks disponibles. bénéficier de ce tarif préférentiel, merci de nous envoyer un justificatif de votre statut. Loi informatique et s : vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant. Elles pourront édées à des organismes extérieurs sauf si vous cochez cette case ❑.

Agenda

Le 4 décembre, 8 h 30

La biologie de synthèse

COLLOQUE. La biologie de synthèse consiste à construire des systèmes biologiques artificiels. Mais les enjeux et objectifs de cette science émergente sont encore flous. Cette rencontre réunit des chercheurs en sciences humaines et sociales, et en sciences de la vie, pour réfléchir à ses implications sur la société. Entrée ouverte à tous, mais payante (120 €).

Paris, CNAM. http://tinyurl.com/colloque-genopole

Le 4 décembre, 20 h 30

Les terres rares

CONFÉRENCE. Depuis une vingtaine d'années, les terres rares intéressent l'industrie. Leurs propriétés sont utiles à des applications de haute technologie : on les trouve dans les diodes luminescentes ou les aimants permanents puissants. Jacques Lucas, chimiste à l'université de Rennes-I, explique pourquoi ces éléments sont devenus l'objet d'enjeux et de rivalités socio-économiques.

Rennes, espace des sciences. http://tinyurl.com/conf-espace-sciences

Le 5 décembre, 20 h

Les trous noirs supermassifs

CONFÉRENCE. La majorité des galaxies posséderaient en leur cœur un trou noir géant. Certains sont « endormis », comme celui de la Voie lactée. D'autres sont très actifs. Pierre-Olivier Petrucci, de l'institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble, présente les phénomènes extrêmement puissants qu'ils produisent sur leur environnement.

Lyon, musée des confluences. http://tinyurl.com/cala-conf-2012-2013

Le 6 décembre, 18 h 30

Néolithique et biodiversité

CONFÉRENCE. Il y a entre 10 000 et 12 000 ans, les hommes ont commencé à domestiquer plantes et animaux. Ce changement est à l'origine d'un nouvel ordre écologique. Jean-Denis Vigne, du Muséum national d'histoire naturelle, examine la biodiversité à l'échelle du Néolithique pour apporter un éclairage original sur les changements actuels.

Paris, Institut de paléontologie humaine. http://tinyurl.com/prog-conf-mdh

Du 7 au 9 décembre

Agora 4.0

FESTIVAL. Pour trois soirées, des scientifiques et des artistes sont réunis pour « explorer le temps », que ce soit à l'échelle d'une société, de l'humanité ou de l'Univers. Avec le public, ils s'interrogent sur la façon dont le temps est ressenti, ou sur l'évolution future de l'homme. Ces soirées sont complétées par une exposition et des ateliers pratiques.

Gif-sur-Yvette, salle de la Terrasse. http://tinyurl.com/agora4-gif

Le 8 décembre, 14 h 30

L'histoire de la Voie lactée

CONFÉRENCE. Notre Galaxie est constituée d'étoiles de gaz, de poussières et de matière noire. Quels sont les scénarios les plus probables pour expliquer sa formation ? Annie Robin, de l'observatoire de Besançon, présente les avancées récentes sur la structure et l'évolution de la Voie lactée.

Besançon, observatoire. http://tinyurl.com/obs-besancon-conf

Du 9 décembre au 10 mars

À travers champs

EXPOSITION. Depuis les années 1950, de nombreuses pièces archéologiques ont été retrouvées au cours de labours dans les alentours de la vallée du Loing et les environs de Nemours. Datées du Paléolithique à la période gallo-romaine, elles sont rassemblées pour cette exposition, qui exhibe la richesse en vestiges de ce territoire.

Nemours (Seine-et-Marne), musée de Préhistoire. http://tinyurl.com/travers-champs-mpidf

Le 10 décembre, 18 h 30

L'état écologique du milieu marin

CONFÉRENCE. Patrick Camus, chercheur à l'Ifremer, explique comment associer tous les acteurs du monde maritime pour concilier l'exploitation de la mer et sa préservation. Et ce, dans le cadre de la directive européenne qui fixe les objectifs visant à maintenir un bon état écologique du milieu marin.

Lorient, capitainerie. http://tinyurl.com/conf-lorient-ccsti

Le 11 décembre, 14 h 30

De la vie aquatique à la vie terrestre

CONFÉRENCE. Nos ancêtres ont un jour quitté la mer, et ont dû s'adapter au milieu terrestre. Leur métabolisme a évolué de façon à économiser l'eau et le sel. Pierre Corvol, biologiste et professeur honoraire au Collège de France, explique ce processus qui a permis au corps de réguler la composition de l'eau qui le constitue.

Paris, Académie des sciences. http://www.academie-sciences.fr/activite/conf.htm

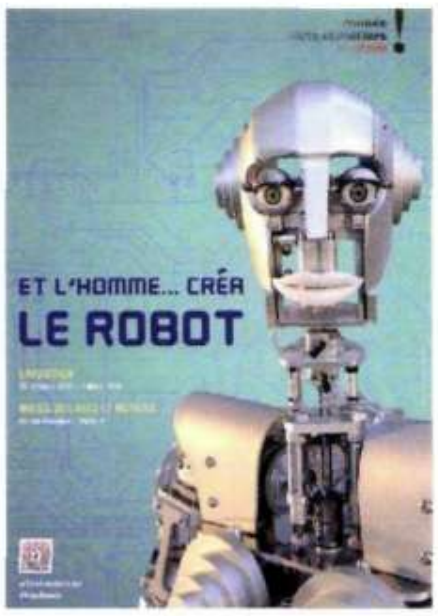
Le 11 décembre, 20 h 30

Des micro-organismes contre les maladies

CONFÉRENCE. La nature produit des médicaments, mais il faut savoir les trouver. Dans la forêt guyanaise, des micro-organismes aquatiques produisent des molécules efficaces contre des maladies dues aux parasites. Anne-Catherine Lehours et Michaël Roussel, de l'université Blaise-Pascal, présentent leurs travaux,

à ne pas manquer

Et l'homme créa le robot



Aujourd'hui, les robots sont capables d'apprendre, de raisonner, ou de développer leurs capacités. Ils ont conquis l'industrie, la médecine, ainsi que notre vie quotidienne, en tant que jouets ou aides domestiques. Cette exposition retrace leur histoire, depuis les premiers automates et les mécanismes d'horlogerie jusqu'aux prothèses bioniques actuelles. Elle fait aussi un parallèle entre cette évolution et les fantasmes des auteurs de science-fiction. Et consacre un volet aux robots du futur. Le 6 décembre, à 18 h 30, Jean-Claude Heudin, directeur de l'Institut de l'Internet et du multimédia, consacre une conférence au mythe entourant les robots, construit sur la fascination et la peur qu'ils inspirent. Il replace dans leur contexte scientifique les œuvres littéraires qui, depuis le XIXe siècle, les mettent en scène.

Jusqu'au 3 mars, au musée des Arts et métiers, Paris. http://tinyurl.com/expo-arts-metiers-robot

Anniversaire

> LE 10 DÉCEMBRE 1912, Paul Sabatier recevait le prix Nobel de Chimie. L'Institut national polytechnique de Toulouse, qui regroupe les grandes écoles, et l'université Paul-Sabatier lui rendent hommage tout au long du mois de décembre. Deux expositions sont à voir : la première, «Objets de sciences, objets d'histoire», qui témoigne de l'héritage du scientifique, se tient jusqu'au 12 ; la seconde, «Nom de code, chimie», se déroule du 4 au 19 décembre, et montre la place de la chimie dans notre quotidien. Trois conférences sont également organisées dans la salle du Sénéchal à Toulouse, les 6, 13 et 20 décembre, à 20 h. La première fait découvrir la catalyse, technique d'accélération des réactions chimiques qui était au cœur des travaux de Sabatier. La deuxième présente son utilité actuelle pour les nanosciences. La dernière est une table ronde intitulée «la catalyse est partout», qui réunit industriels et universitaires.

> http://tinyurl.com/centenaire-sabatier

qui consistent à identifier ces molécules.

Clermont-Ferrand, salle Georges-Conchon. http://tinyurl.com/conf-clermont

Le 12 décembre, 19 h

La dynamique des tissus

CONFÉRENCE. Comment évoluent les tissus biologiques ? Des lois mathématiques bien définies permettent de prédire leurs comportements dans différentes situations. Jacques Prost, physicien et directeur de l'ESPCI, l'explique en s'appuyant sur l'exemple des microtumeurs ou de l'intestin. Il montre qu'à long terme les tissus peuvent se comporter comme des fluides.

Paris, ESPCI ParisTech. http://tinyurl.com/agenda-conf-espci

Le 12 décembre, 19 h 30

Du *Titanic* au vol AF447

CONFÉRENCE. En 1912, le *Titanic* coule après avoir heurté un iceberg. En 2009, lors du vol AF447, un Airbus A330 entre dans une formation nuageuse et disparaît dans l'Atlantique Nord. Paul-Henri Nargeolet, directeur des recherches sous-marines de la société RMS Titanic, a exploré ces deux épaves. Il expose les techniques utilisées pour ces recherches sous-marines.

Paris, Institut océanographique. http://tinyurl.com/conf-abysses-paris

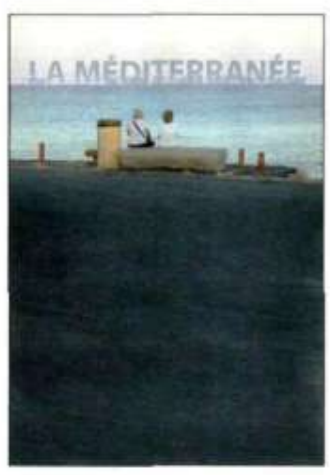
Le 15 décembre, 19 h

D'où vient le mythe de l'étoile de Noël ?

CONFÉRENCE. Avant les fêtes, l'astronome Jean-Louis Heudier répond à cette question, et dévoile la façon dont l'astronomie influence le calendrier. Il explique pourquoi Noël a lieu le 25 décembre, le changement d'année le 1er janvier, et pourquoi nous sommes en 2012.

Èze-le-Col (Alpes-Maritimes), Astrorama. http://tinyurl.com/conferences-astrorama

Le 18 décembre, 18 h 30



Florence et la naissance de la science moderne

CONFÉRENCE. Dans le cadre d'un cycle sur la Méditerranée : La science moderne est-elle née à Florence ? Dès le XIIe siècle, les échanges culturels y créent une grande effervescence intellectuelle. Bernard Maitte, professeur d'histoire des sciences à l'université Lille-I, explique comment ont émergé dans ce contexte les approches mathématiques et expérimentales pour appréhender le monde qui nous entoure.

Villeneuve-d'Ascq (Nord), espace culture de l'université Lille-I. http://tinyurl.com/florence-science-moderne

Jusqu'au 6 janvier

© CNES/ESA/ARIANESPACE

L'espace s'expose au Palais de la découverte

EXPOSITION. Les 50 ans d'activité du CNES retracés à travers 50 photographies : les visiteurs y découvrent le lancement des fusées en Guyane, l'exploration planétaire, la Terre vue de l'espace, etc.

Paris, Palais de la découverte. http://tinyurl.com/expo-espace-palais

Le mois prochain dans La Recherche

Palmarès
les 10 découvertes scientifiques les plus importantes de 2012

Comme tous les ans, la rédaction de *La Recherche* propose sa sélection, établie parmi toutes les avancées de la science rendues publiques dans les 12 derniers mois. Retrouvez aussi le nouveau Prix Nobel de physique Serge Haroche, ainsi qu'un album des images de science les plus étonnantes de l'année.

À ne pas manquer
Les grands rendez-vous de la science en 2013

Entretien
Geneviève Fioraso,
ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

N° 471 • EN VENTE LE 20 DÉCEMBRE

Un Bouddha venu du ciel

Lire les mots « nazis » et « extraterrestre » dans un même article de planétologie n'arrive pas tous les jours ! C'est pourtant le cas de celui publié dans la revue *Meteorics & Planetary Science* par une équipe de Stuttgart, en Allemagne. Le sujet ? La découverte d'une statuette sculptée dans une météorite. Pesant 10 kilogrammes et haute de 24 centimètres, elle aurait été rapportée par une expédition nazie au Tibet en 1938-1939, à cause du svastika – symbole religieux ressemblant à la croix gammée – qui orne son torse. Les chercheurs ont analysé sa composition et sa structure minéralogique : elle est taillée dans un bloc de la météorite de Chinga, tombée entre la Sibérie et la Mongolie il y a environ 15 000 ans. La statuette, elle, daterait du XI[e] siècle, mais son origine et son âge exacts restent à préciser. C'est le seul exemple connu d'une figure humaine sculptée dans un tel matériau. Ajoutez à cela le surnom de la statuette – Iron Man – et vous avez le scénario d'un film hollywoodien. http://bit.ly/RhTYH2

Tomate et poissons rouges

Plus les poissons rouges sont rouges, plus ils attirent l'œil d'acheteurs potentiels. Oui, mais comment les rendre plus rouges qu'ils ne le sont déjà… disons rouge tomate ? Ni une ni deux, des chercheurs turcs, futurs Steve Jobs du bocal, ont eu une idée brillante : les nourrir avec de la poudre d'extraits de tomate. Le plan est impeccable : alimentation stricte et mesures quotidiennes de colorimétrie. Trois mois d'expérience et 255 cobayes plus tard, les résultats sont annoncés en grande pompe à l'annuelle Conférence internationale d'ingénierie d'agriculture : aucun effet sur la pigmentation des poissons. Rien. Dommage, il y avait de l'idée. http://bit.ly/VcgHD7

Des économistes la main dans le sac

Combien rapporte un braquage de banque ? La réponse importe souvent peu au grand public, leurré par le romantisme d'Arsène Lupin et consorts. Il fallait donc que la science s'en mêle. Trois économistes britanniques ont eu accès aux données de l'association britannique des banques, et publient une étude sur les gains moyens d'une telle opération. Résultat : 15 000 euros par personne par braquage. Comme ailleurs, il faut payer les employés, provisionner le bilan en cas d'échec, etc. Pas de quoi envisager un exil aux Seychelles. D'autant que le travail est pénible : environ un an et demi avant d'être contraint au repos (en cellule). Et les chercheurs de se fendre d'un conseil aux braqueurs : les criminels qui réussissent étudient l'économétrie. Ça ressemblerait presque à une candidature spontanée. http://bit.ly/N7CwVT

Pour vivre plus longtemps, devenez eunuques

Les femelles vivent en moyenne plus longtemps que les mâles, et ce chez beaucoup d'espèces d'animaux. Certains scientifiques désignent comme responsable potentiel la testostérone, principale hormone sexuelle mâle. Selon eux, elle pousserait à consacrer beaucoup d'énergie à la reproduction, avec une incidence négative sur la longévité. Un tribut nécessaire pour la survie de l'espèce. Pour tester l'hypothèse, des chercheurs coréens ont recensé la durée de vie de 81 eunuques, castrés, et donc sans testostérone, entre le XIV[e] et le XX[e] siècle. Résultat : les eunuques ont vécu en moyenne entre quatorze et vingt ans plus longtemps que leurs congénères du même statut social, familles royales comprises. Les chercheurs appellent maintenant à des études similaires dans d'autres cultures. Étrangement, les cobayes volontaires ne courent pas les rues. http://bit.ly/PgV1Er

© DR. ELMAR BUCHNER/NEU-ULM UNIVERSITY - COLLECTION CHRISTOPHEL

Naître aujourd'hui

Les dossiers de LA RECHERCHE

Les dossiers de

LA Recherche

N° 1
DÉCEMBRE
2012

La naissance

- La procréation assistée
- De plus en plus de prématurés
- Le rôle du placenta
- Le débat de l'allaitement

CAHIER TECHNOLOGIES **L'énergie solaire**

En vente à partir du 6 décembre

M 04219

D 8,60 € - BEL 7,90 € - ESP 7,60 € - GR 7,60 € - ITA 7,60 € - LUX 7,60 € - PORT CONT 7,60 € - CH 13,80 FS - TUN 6,90 TND - MAR 69 DHS - CAN 10,99 $ CAN - DOM 7,60 € - TOM SURFACE 1000 XPF - TOM AVION 1720 XPF N ISSN 1772-3809